PARIS. — TYPOGRAPHIE LAHURE
Rue de Fleurus, 9

LA
PRESSION BAROMÉTRIQUE

RECHERCHES
DE PHYSIOLOGIE EXPÉRIMENTALE

PAR

PAUL BERT

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

LAURÉAT DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

(Prix de physiologie expérimentale, 1865)

LAURÉAT DE L'INSTITUT (Grand Prix biennal, 1875)

AVEC 89 FIGURES DANS LE TEXTE



PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

BOULEVARD SAINT-GERMAIN, EN FACE DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE

—

M DCCC LXXVIII

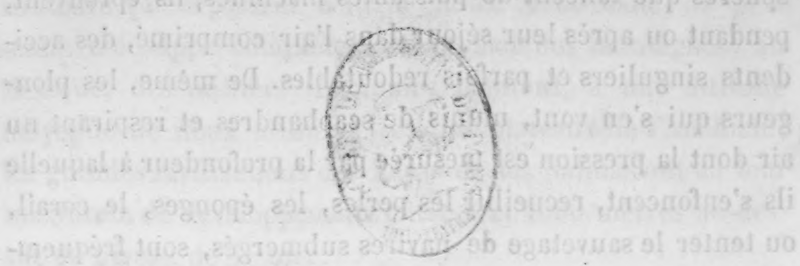
1878

A M. LE DOCTEUR JOURDANET

MON CHER CONFRÈRE,

C'est à vous que je dois, avec l'idée première de ce travail, les moyens matériels de l'exécuter, moyens matériels si difficiles à rassembler. J'ai été bien heureux de voir l'expérimentation physiologique, sur un des points les plus importants de ces études, confirmer entièrement la théorie que votre sagacité avait déduite de nombreuses observations pathologiques recueillies sur les hauts plateaux mexicains. A tous ces titres, je devais vous dédier ce livre, et je le fais avec d'autant plus de plaisir que vous êtes de ceux qui rendraient aux natures les plus ingrates la reconnaissance légère à porter.

PAUL BERT.



PRÉFACE

L'influence considérable que peuvent exercer sûr les êtres vivants les modifications dans la pression barométrique, n'est mise en doute par personne; on est même disposé à en exagérer l'importance. Que la colonne du baromètre monte ou baisse de quelques millimètres, les gens nerveux, les asthmatiques éprouvent des phénomènes favorables ou fâcheux qu'ils ne manquent pas d'attribuer à la lourdeur ou à la légèreté de l'air. Si c'était cette cause qu'il fallût incriminer, une promenade des bords de la Seine au sommet de la butte Montmartre, ou réciproquement, devrait, chez les mêmes personnes, produire de semblables résultats.

Mais en dehors de cet ordre de faits, sur lesquels je reviendrai dans un instant, il en reste, et de nombreux, qui présentent un intérêt bien plus considérable, et qui méritent qu'on s'attache à leur étude avec persévérance.

S'agit-il de l'augmentation de pression? Lorsque, dans les puits de mine ou dans les tubes destinés à devenir des piles de pont, des ouvriers travaillent, protégés contre l'enva-

hissement des eaux par l'air comprimé à plusieurs atmosphères que lancent de puissantes machines, ils éprouvent, pendant ou après leur séjour dans l'air comprimé, des accidents singuliers et parfois redoutables. De même, les plongeurs qui s'en vont, munis de scaphandres et respirant un air dont la pression est mesurée par la profondeur à laquelle ils s'enfoncent, recueillir les perles, les éponges, le corail, ou tenter le sauvetage de navires submergés, sont fréquemment frappés de paralysie ou de mort. D'un autre côté, la thérapeutique, s'emparant d'observations déjà anciennes, a, depuis Junod, Pravaz et Tabarié, tenté d'utiliser, non sans d'importants succès, l'influence de l'air assez faiblement comprimé.

S'agit-il de la diminution de pression? Nous pouvons citer tout d'abord les accidents qui menacent les aéronautes lorsque leur course verticale les entraîne à des hauteurs qui dépassent 4000 mètres : nausées, vertiges, hémorrhagies, syncopes; puis, les phénomènes connus depuis bien plus longtemps de tous ceux qui ont tenté au-dessus de 3 à 4000 mètres les ascensions de montagnes, ce *mal des montagnes*, sur la cause duquel ont été émises tant et de si étranges hypothèses. Enfin, nous rencontrons ici des faits d'une importance bien autrement grande. Il ne s'agit plus, en effet, de quelques ouvriers, de quelques malades, de quelques touristes, mais bien de populations entières qui, normalement et régulièrement, vivent, construisent des villes, se groupent en peuples, sur ces hauts lieux où des sensations pénibles et parfois insupportables attendent le voyageur.

On sent qu'ici, le problème qui nous occupe touche non-seulement à l'hygiène des peuples, mais jusqu'à un certain point à l'histoire et à la politique. Dans l'Himalaya, dans la

Cordillère des Andes, des cités populeuses sont bâties à des hauteurs qui dépassent celle de notre Mont-Blanc, où personne n'échappe complétement au mal des montagnes; au Mexique, des milliers d'hommes habitent, à une altitude moyenne de deux mille mètres, les plateaux de l'Anahuac; les grandes civilisations des Mayas et des Nahuas ont eu leur maximum de développement entre 2 et 4000 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Le lecteur peut voir, par ce rapide coup d'œil, à quels intérêts de premier ordre touche la question à l'étude expérimentale de laquelle je me suis consciencieusement appliqué. Il trouvera par suite tout naturel que de pareils phénomènes aient été l'occasion de publications nombreuses, de la part des médecins ou des voyageurs; mais il s'étonnera sans doute qu'on ait si peu tenté, pour en éclairer la cause, dans le domaine de l'expérience en laboratoire. L'idée la plus simple aurait dû être, ce semble, de construire des appareils permettant de reproduire les modifications dans la pression barométrique, en les isolant des conditions secondaires, annexes, qui les accompagnent fatalement dans l'état de nature, et d'examiner sur l'homme, sur les animaux, les résultats immédiats de ces modifications. Or, on a très-peu fait dans cette direction. En revanche, nous rencontrerons en grand nombre les observations incomplètes, les dissertations prétentieuses, les explications vraisemblables ou absurdes.

Je me suis proposé pour but de combler cette considérable lacune, et de résoudre par voie purement expérimentale ces importants problèmes.

En prenant ainsi position sur ce terrain solide, j'ai dû laisser systématiquement de côté trois ordres de questions qui ne pouvaient être attaquées dans le laboratoire, et pour les-

quelles, par suite, les conditions certaines de la preuve ne pouvaient être rassemblées; c'est à savoir : les oscillations quotidiennes du baromètre, les applications thérapeutiques, l'acclimatement sur les hauts lieux.

Je regrette peu la première question, qui ne me paraît même pas appartenir à notre sujet d'études. Les légères modifications dans la pression de l'air que révèle, en un lieu donné, la colonne barométrique, sont accompagnées de trop d'autres phénomènes météorologiques (hygrométriques, électriques, etc.), pour qu'on puisse déterminer la part, à coup sûr bien minime, qui leur revient dans la manière d'être de certains malades.

Quant aux deux autres questions, je me suis beaucoup servi des faits observés par les auteurs qui s'en sont occupés, et je pense que mes propres études ne seront pas inutiles pour guider les médecins et les hygiénistes au milieu des innombrables difficultés qu'elles soulèvent. Mais je ne les ai pas abordées directement, non-seulement à cause de mon incompétence médicale, non-seulement parce que les expériences de laboratoire sur les oiseaux, les chiens, voire même les hommes, ne pouvaient guère permettre de les résoudre, mais encore pour une raison spéciale et en quelque sorte personnelle.

Lorsque, il y a de cela huit ans, M. le docteur Jourdanet, très-connu pour ses remarquables études sur la climatologie du Mexique et pour sa théorie de l'*anoxyhémie* des altitudes, vint m'offrir — avec une générosité dont je voudrais que les résultats de mes travaux fussent une digne récompense — de mettre à ma disposition tous les moyens matériels qu'exigeraient des recherches dont j'avais publiquement[1], en 1868,

[1] Voir mes *Leçons sur la Physiologie comparée de la respiration;* Paris, 1870, pages 121-130.

indiqué l'importance et la difficulté, il s'établit entre nous une sorte de convention tacite. Je devais me borner à étudier, expérimentalement, dans le laboratoire, à l'aide de mes instruments, les modifications que des changements de la pression barométrique apporteraient dans les manifestations vitales des animaux ou des végétaux. Quelle que fût l'ampleur de mon outillage expérimental, ces changements ne pouvaient bien évidemment être de longue durée, en telle sorte que, pour qu'ils produisissent des effets évidents, il fallait de toute nécessité qu'ils fussent considérables. C'est là, du reste, le propre des expériences de laboratoire.

M. Jourdanet se réservait légitimement l'étude des effets que peuvent produire des variations barométriques légères, mais s'exerçant soit pendant un temps encore assez bref sur des malades — réactif dont l'exquise délicatesse fera toujours un peu peur aux expérimentateurs, — soit pendant des années sur les mêmes individus, ou des siècles sur les générations successives, mêlant ainsi son action à celles de tant de causes connues ou inconnues : périlleux problèmes, mais bien propres à séduire un esprit ardent et sagace, servi par une plume éloquente.

Nous avons tous les deux accompli notre tâche : depuis deux ans déjà, M. Jourdanet a publié son beau livre de l'*Influence de la pression de l'air sur la vie de l'homme : climats d'altitude et climats de montagne*[1].

Quant à moi, retardé par des luttes extra-scientifiques, arraché trop souvent à mon laboratoire par la sévérité des devoirs civiques, j'apporte seulement aujourd'hui les résultats mis en ordre de mes longues recherches.

[1] Paris, G. Masson, 1875. — 2e édition, 1876.

Le présent livre qui, si je ne me fais illusion, a de quoi intéresser non-seulement les physiologistes, mais les médecins, les ingénieurs, les voyageurs même, se divise en trois parties : historique, expériences, conclusions.

J'ai apporté à la rédaction de l'historique les soins les plus minutieux. Je me suis efforcé de réunir tout ce qui a été écrit sur le sujet de mes études. Il m'a semblé qu'il y aurait grand intérêt pour le lecteur à avoir ainsi sous les yeux toutes les pièces du procès, avec l'infinie variété des récits, leurs contradictions fréquentes, et souvent aussi leurs répétitions instructives. J'ai cru devoir prendre le parti de rapporter textuellement les paroles des auteurs cités : je me suis défié des analyses même les plus consciencieuses ; il m'est arrivé de voir plusieurs fois, dans mes recherches bibliographiques, les affirmations d'un auteur transformées en négations par une série de traductions et d'analyses. Du reste, des chapitres de résumé et de critique reposent l'esprit du lecteur ; mais du moins chacun des faits qui y sont affirmés trouve sa preuve dans les extraits qui précèdent.

Dans la deuxième partie se trouvent rapportées mes expériences personnelles. Les titres des chapitres indiquent suffisamment l'ordre dans lequel j'ai conçu leur exposition. Un coup d'œil jeté sur la table des matières montre qu'après avoir étudié directement l'influence des changements dans la pression barométrique, j'ai consacré quelques chapitres à des recherches nouvelles sur l'action physiologique de l'acide carbonique, sur l'asphyxie, sur les gaz du sang. Le lecteur verra, en les parcourant, que je ne me suis pas autant écarté de mon sujet que pourrait le faire supposer ce simple énoncé ; les nombreux renvois que je fais, dans mes conclusions, à cette partie de mon livre, en donnent une preuve évidente.

J'ai, dans la rédaction des expériences, qui sont au nombre de six cent soixante-dix environ, employé la méthode énumérative; toutes celles qui m'ont paru présenter de l'intérêt ont été exposées tout au long. Cette méthode a pour avantages d'abord de fournir la preuve de toutes les affirmations, ensuite de permettre parfois au lecteur de trouver dans le récit des expériences ce que l'auteur n'y a pas vu lui-même. Des résumés annexés à chaque chapitre facilitent d'ailleurs la connaissance rapide des résultats obtenus. Je dirai, enfin, que sur chaque point, les expériences sont énumérées suivant leur date d'exécution ; on peut ainsi tenir compte des observations qui ont échappé au début des recherches, des perfectionnements réalisés par l'expérimentateur, et, par suite, de la valeur sans cesse décroissante des causes d'erreurs.

Enfin, la troisième partie est intitulée : *Faits récents, résumé et conclusions*. J'y reprends d'abord l'historique que j'avais, dans la première partie, amené seulement jusqu'à mes propres travaux. Puis, je tire les conclusions de toutes mes séries de recherches. On verra qu'ici, ma convention avec M. Jourdanet n'a pu être exécutée dans toute sa rigueur, et que je n'ai pu m'empêcher de faire quelques incursions sur le domaine qui lui était réservé.

Le chapitre III et dernier, qui a pour titre : *Conclusions générales*, ne contient que trois pages. Puisse cette sobriété dans le résumé me faire pardonner les onze cent cinquante pages qui m'ont paru nécessaires pour y conduire le lecteur ! Je laisse à d'autres le soin délicat de décider si cette antithèse prête à la critique ou à l'éloge. Je me bornerai, plaidant du moins les circonstances atténuantes, à rappeler que l'Institut m'ayant fait l'honneur, en 1875, sur le rapport de l'Aca-

démie des sciences, de décerner à mes travaux le grand prix biennal[1], il m'a semblé qu'il était de mon devoir de n'épargner ni temps ni peine pour rendre leur publication plus digne de cette haute récompense.

Je dois, avant de terminer cette préface, remercier MM. Gréhant et Dastre, mes suppléants dans la chaire de physiologie de la Faculté des sciences, M. le Dr Jolyet, sous-directeur du laboratoire, et M. Paul Regnard, préparateur du cours, qui m'ont aidé dans mes recherches avec un dévouement affectueux.

P. B.

Octobre 1877.

[1] Cette récompense de premier ordre est accordée, tous les deux ans, suivant les termes du décret constitutif, « à l'œuvre ou à la découverte qui aura le plus contribué à honorer ou à servir le pays » dans les dix dernières années, à tour de rôle, pour chacune des branches des connaissances humaines représentées par les cinq classes de l'Institut.

Le prix triennal, par le décret du 14 avril 1855, a été décerné à M. Fizeau, en 1856; il n'a été triennal qu'une seule fois, et par décret du 22 décembre 1860, sur la demande de l'Institut, il est devenu biennal et a été depuis ainsi accordé :

A MM. Thiers (Académie française), 1861.
— Jules Oppert (Académie des inscriptions et belles-lettres), 1863.
— Würtz (Académie des sciences), 1865.
— Félicien David (Académie des beaux-arts), 1867.
— Henri Martin (Académie des sciences morales et politiques), 1869.
— Guizot (Académie française), 1871.
— Mariette-Bey (Académie des inscriptions et belles-lettres), 1873.
— Paul Bert (Académie des sciences), 1875.
— Chapu (Académie des beaux-arts), 1877.

(*Note de l'éditeur.*)

PREMIÈRE PARTIE

HISTORIQUE

TITRE PREMIER

DIMINUTION DE PRESSION

CHAPITRE PRÉLIMINAIRE

LES RÉGIONS ÉLEVÉES DU GLOBE.

Les effets que produit sur l'organisme une grande et soudaine diminution dans la pression barométrique peuvent être observés dans trois cas différents : voyages sur les montagnes, ascensions en ballon, expériences sous les cloches pneumatiques.

Ces deux dernières circonstances étaient absolument inconnues aux anciens. Galilée, comme chacun le sait, eut, le premier, une idée nette de la pression de l'air ; c'est en 1640 seulement que Toricelli inventa le baromètre, et, en 1650, Otto de Guéricke, la machine pneumatique. En 1648, à l'instigation de notre grand Pascal, Périer fit, au Puy-de-Dôme, l'expérience mémorable dans laquelle il vit la hauteur de la colonne barométrique diminuer à mesure qu'augmentait l'altitude du lieu où elle était observée.

Pour les ballons, la découverte est plus récente encore. La première montgolfière qui emporta dans les airs Pilâtre du Rozier et le marquis d'Arlandes, s'éleva de Paris le 22 novembre 1783; peu de jours après, le 1er décembre, Charles faisait une ascension avec le ballon à hydrogène qu'il venait d'inventer. Seul, ce ballon pouêtre capable d'emporter des observateurs assez haut pour que la

diminution de pression fît sentir sur eux son action. En effet, l'expérience a prouvé que celle-ci ne se manifeste pas nettement, en aérostat, avant 5 ou 6,000 mètres d'élévation. Il en résulte que, parmi les milliers d'ascensions qui ont suivi celle de Charles et Robert, un très-petit nombre peuvent nous présenter quelque intérêt au point de vue où nous sommes placés, et devront être rapportées dans cette revue historique.

Quant à la troisième condition, l'ascension des hautes montagnes, il paraît au premier abord étonnant d'avoir à constater que les auteurs anciens ne nous ont laissé aucune indication précise permettant de croire qu'ils aient observé, pendant l'ascension des lieux élevés, quelques troubles physiologiques dignes d'attirer l'attention[1].

En effet, sur l'étendue du monde connu des anciens se dressent des montagnes d'une hauteur considérable. A ses extrêmes limites orientales[2], le mont Ararat et les pics culminants du Caucase élèvent leurs têtes éternellement glacées à plus de 5000^{m} au-dessus du niveau de la mer ; les chaînes du Liban et du Taurus contiennent beaucoup de sommets dépassant 2500^{m} et même 3000^{m} ; le fameux mont Argée atteint 3840^{m} ; parmi les collines de l'Hémus et du Rhodope, quelques-unes s'élèvent à 3000^{m} ; le mont Athos a 1975^{m}, le Parnasse, 2470^{m}, le Taygète, 2400^{m}, et c'est à 2975^{m}, sur le front sourcilleux de l'Olympe, que les poëtes plaçaient le séjour des Dieux. Le mont Etna (3310^{m}) menace depuis deux mille cinq cents ans les villes grecques établies à ses pieds. Les Phéniciens et les Carthaginois, dont l'audace avait été établir des colonies jusqu'aux Iles fortunées, connaissaient le sommet fumant du pic de Ténériffe (3715^{m}). Enfin les Pyrénées et les Alpes n'ont servi que d'insuffisantes barrières contre les armées de Carthage et de Rome.

La raison du silence des auteurs est facile à trouver. Comme l'a très-justement remarqué de Humboldt, les anciens redoutaient la

[1] Voir cependant, au chapitre III, la citation de Bacon.

[2] Les hauteurs que je rapporte dans cette revue générale ont été pour la plupart empruntées à la dernière édition du *Stieler's Hand-Atlas*. Celles que je n'ai pas trouvées dans cet atlas ont été prises pour l'Europe, dans l'*Orographie* de Bruguière ; pour la France, dans la *Géographie* de M. Levasseur ; pour l'Amérique du Sud, dans les travaux de Pentland et de M. Pissiz. J'ai utilisé aussi les renseignements fournis par le récent travail de Berghaus (*Höhentafel von* 100 *Gebirgsgruppen aus allen Erdtheilen. Geogr. Jahrbuch*. 1874). Le but que je me propose d'atteindre n'exige évidemment pas une précision absolue ; aussi n'ai-je pas hésité à me servir de quelques documents un peu anciens ; pour la même raison, j'ai supprimé les unités dans les cotes de hauteur.

montagne bien plus qu'ils ne l'admiraient. Ils n'en parlent qu'avec crainte, avec une secrète horreur; les magnifiques spectacles qu'elle offre au regard ne les touchaient nullement; les émotions qu'elle suscite, les nobles idées qu'elle inspire, leur étaient inconnues. L'amour du pittoresque est un sentiment tout moderne; les anciens, et même nos aïeux jusqu'au siècle dernier, eussent considéré avec un étonnement mêlé de dédain nos intrépides grimpeurs des Alpes. Polybe, le premier, parcourut les vallées alpestres; les masses montagneuses les plus énormes, le mont Blanc, le mont Rose, la Yungfrau, n'ont pas de noms dans les langues classiques.

La seule montagne dont les anciens aient fait l'ascension sans y être forcés est l'Etna. Sénèque engage son ami Lucilius Junior à monter en son honneur au sommet du volcan (Lettre 79); ces excursions étaient fréquentes au temps de Strabon[1], et d'après un poëme attribué aujourd'hui à ce même Lucilius, des prêtres s'occupaient à brûler l'encens sur les bords du cratère pour apaiser les immortels; l'empereur Adrien, grand voyageur, eut la fantaisie de monter au sommet de l'Etna, pour voir lever le soleil. Aucun de ces récits ne parle d'accidents physiologiques; mais nous verrons qu'à la hauteur de ce volcan ils sont faibles, ne frappent qu'une partie des voyageurs et ont pu être confondus avec les effets ordinaires de la fatigue. Il en est de même pour les traversées des Pyrénées et des Alpes. Les cols pyrénéens par lesquels s'établissaient les communications régulières entre la Gaule et l'Hispanie, atteignent à peine 1,500^{m}. Quelque opinion qu'on adopte pour le lieu du passage d'Annibal, qu'on le place au petit Saint-Bernard, (2160^{m}) au col du mont Viso (2700^{m}), au mont Cenis, (2080^{m}), à la vallée de Beaufort entre Albert-Ville et Chamounix, on voit que les hauteurs atteintes n'étaient pas extrêmement considérables. Auguste fit établir deux routes, par les cols du grand Saint-Bernard (2490^{m}) et du petit Saint-Bernard[2], et le roi Cottus, son contemporain, perça celle du mont Cenis. Au moyen âge, le Simplon (2020^{m}) et le grand Saint-Bernard furent très-fréquentés; les chroniqueurs nous ont gardé de ces voyages ou de ces expéditions des descriptions où les difficultés terribles des chemins, les fatigues excessives, le froid, expliquent suffisamment le lamentable état des voyageurs, dont beaucoup, comme Elfrige, archevêque de Cantorbéry, périssaient dans les neiges.

[1] Strabon, *Géographie*, liv. VI, chap. III, § IX.
[2] *Ibid.*, liv. IV, chap. VI, § IV.

Il fallait, pour forcer l'attention, que les voyageurs fussent amenés à faire des ascensions plus élevées, et que des malaises évidemment inexplicables par les causes ordinaires fussent venus les frapper. Les hauts sommets des Alpes présentaient, comme nous le verrons, les conditions nécessaires; seulement, leurs ascensions n'offrent aucun intérêt pratique, n'eurent lieu qu'à la fin du siécle dernier. Mais, vingt ans après la découverte de l'Amérique, la conquête du Mexique et du Pérou, les expéditions militaires à travers les Cordillères, amenèrent les Espagnols dans les conditions où se manifestent nettement les accidents de la décompression. Aussi l'attention fut-elle bientôt éveillée sur eux, et l'on arriva à les constater dans des ascensions où ils ne sont ni considérables ni constants, comme celles de l'Etna et du Pic de Ténériffe. Cependant nos Alpes restèrent longtemps encore inexplorées; si les villes importantes, les riches vallées de Suisse attiraient d'assez nombreux voyageurs, il ne venait à la pensée d'aucun d'eux de gravir ces sommets redoutables, couverts de neiges, peuplés d'êtres étranges[1], et sur lesquels on se répétait les plus sombres légendes. C'est dans la seconde moitié du dix-huitième siècle seulement que l'on se résolut à les admirer, et que l'idée d'en atteindre la cime germa dans quelques esprits. Encore est-ce le point de vue scientifique qui dirigea les premières ascensions. Celles de de Saussure signalèrent avec une vivacité saisissante les accidents amenés par le séjour dans un air raréfié. Depuis, de semblables observations se sont multipliées. Enfin, plus récemment encore, les officiers, les savants, les voyageurs anglais ont poussé leurs explorations jusque dans les plus hautes régions de l'Himalaya. Leurs récits, joints à ceux des ascensionnistes des Alpes, à ceux des voyageurs en Amérique devenus plus nombreux, ont familiarisé les médecins avec les symptômes du *mal des montagnes*.

Je vais, dans les pages suivantes, rapporter la plupart des faits intéressants recueillis ainsi par les témoins oculaires, et souvent dans leur observation personnelle. Mais je voudrais, dans ce chapitre préliminaire, rappeler à la mémoire du lecteur les diverses régions montagneuses sur lesquelles le voyageur est exposé à souffrir par suite de la diminution de pression. Cette simple énumération lui montrera l'importance pratique de la question dont nous nous occuperons ici, c'est-à-dire de l'influence de la diminution

[1] Voir Scheuchzer, *ουρεσιφοιτης* Helveticus. Lugd. Bat., 1723.

de pression se manifestant par des accidents aigus et violents.

Le mal des montagnes n'apparaît que rarement avec une certaine intensité dans nos régions tempérées, au-dessous de 3500^{m} d'altitude. Entre les tropiques, il faut, pour l'éprouver nettement dans les conditions ordinaires, s'élever jusqu'à plus de 4000^{m}. Nous aurons à revenir sur ces limites et à tenir compte des circonstances diverses qui accélèrent ou retardent les accidents, je veux dire les font survenir ou plus bas ou plus haut. Pour le moment, ces hauteurs approximatives suffisent pour servir de base à la revue que nous nous proposons de faire.

Europe. — Prenons l'Europe, d'abord ; la chaîne des Alpes, celle des Pyrénées, celle du Caucase, nous offrent presque seules des pics suffisamment élevés pour que leur ascension occasionne d'autres inconvénients que la fatigue et les dangers habituels des montagnes.

Examinons en premier lieu les Alpes. Cet énorme massif montagneux, qui présente sur une ligne courbe de deux cents lieues de longueur d'innombrables sommets chargés de neiges éternelles, descend rapidement, du côté du sud, vers les basses plaines de la Lombardie, tandis qu'au nord, il s'incline plus lentement vers les plateaux élevés du Wurtemberg, de la Bavière, de la Bohême, entrecoupés de montagnes secondaires.

Le nœud du système est formé par le massif du Saint-Gothard, dont les eaux s'écoulent à la fois par le Rhin dans la mer du Nord, par le Rhône dans la Méditerranée, par le Tessin dans l'Adriatique ; et cependant cette région est une des moins élevées des Alpes centrales. Elle est immédiatement dominée au nord par le Galenstock (3800^{m}) et le Tödi (3600^{m}) ; à l'Est, par le groupe qui entoure le petit Saint-Bernard, entre autres le Rheinwaldhorn (3400^{m}) ; à l'Ouest, par la masse énorme des glaciers des Alpes bernoises, au milieu desquels se dressent la Yungfrau (4170^{m}), l'Aletschhorn (4200^{m}), le Schreckhorn (4080^{m}), le Bietsch (3950^{m}), le Mönch(4100^{m}), le Finsteraarhorn (4270^{m}). En s'avançant vers l'orient, on voit le mont Bernin (4050^{m}) et le mont della Disgrazia (3680^{m}) séparer la vallée de la Valteline, où coule l'Adda, de celle de l'Engadine, où l'Inn conduit par le Danube à la mer Noire les eaux que lui amènent de nombreux sommets dépassant 3000^{m}, comme ceux du Piz d'Err (3390^{m}), du Piz Linard (3410^{m}), du Piz Languard (3270^{m}), etc. Sur l'autre rive de l'Adda, les Alpes Tiroliennes montrent des cimes plus élevées encore ; c'est l'Adamello (3560^{m}), la Wildspitze (3770^{m}), le

Venediger (3675m), le Gros-Glockner (3890m) et surtout l'Orteler (3920m).

Mais c'est du côté de l'ouest et sur la rive gauche du Rhône que s'élèvent les géants des Alpes. C'est d'abord, autour du Simplon (3200m), le Monte-Leone (3560m), le Fletschhorn (4020m), le Weïsmies (4030m); puis le massif du mont Rose, avec ses trois points culminants : le dôme du Mischabel (4550m), le Matterhorn ou mont Cervin (4480m), et le mont Rose proprement dit, dont le pic le plus élevé, la pointe de Dufour, monte à 4640m. Viennent ensuite la Dent-Blanche (4360m), le Weisshorn (4510m), le grand Combin (4320m), et plus à l'ouest le mont Blanc (4810m), qui, entouré de nombreuses aiguilles presque inaccessibles, domine toutes les autres montagnes d'Europe.

Au delà, la chaîne s'abaisse rapidement, bien qu'elle présente encore quelques sommets élevés, comme le mont Iseran (4045m), le mont Cenis (3620m), la Vanoise (3860m), dans les Alpes Graïes; le mont Viso (3840m), le mont Olan (4215m), dans les Alpes Cottiennes; le mont Pelvoux (3955m), la pointe des Écrins (4100m), les grandes Rousses (3475m), dans les Alpes du Dauphiné. Les Alpes maritimes sont moins élevées encore; viennent enfin les Apennins, dont la plus haute cime, le Monte-Corvo, dans les Abruzzes, n'atteint que 2910m. Mais quelle figure fait, à côté de ces géants, le Capitole, avec ses 47m au-dessus du niveau de la mer!

A l'extrémité de la chaîne, une montagne assez élevée, le mont Alto (1080m) fait face à la Sicile, dont le sol montueux, pas plus que celui de la Sardaigne, ne présente de sommets atteignant 2000m. Au-dessus de toutes ces montagnes secondaires se dresse à 3310m le cratère de l'Etna.

Entre ces hauts sommets, ces aiguilles abruptes, qu'escaladent ceux-là seuls qu'entraîne l'amour de la science, le goût des grands spectacles, ou simplement la vanité, des dépressions, des *cols*, permettent à des voyageurs très-nombreux sur certains points de franchir la chaîne principale pour aller de Suisse ou de France en Italie. Ces cols sont pour la plupart très-élevés. Les plus connus et les plus hauts sont : dans les Alpes maritimes, les cols de Tende (1870m), de Longet (3150m), de l'Argentière (1905m), de Maurin (2980m); dans les Alpes cottiennes, les cols de Traversette (2995m), dell Agnello (2700m), de Sayse (3360m), du mont Genèvre (1850m); dans les Alpes Graïes, le passage du mont Cenis (2080m), celui du petit Saint-Bernard (2160m); dans les Alpes Penninnes, le col du

grand Saint-Bernard (2490^m), celui du Géant (3360^m), celui de la Seigne (2530^m), le col de Balme (2200^m), le col de Saint-Théodule (3320^m); dans les Alpes helvétiques, le passage du Simplon (2020^m), le col de Gemmi (2300^m), le passage du Grimsel (2160^m), celui de la Fourca (2460^m), du Saint-Gothard (2110^m), du Bernardin (2060^m), etc. La route de la Valteline, la plus haute route carrossable d'Europe, franchit le col de Stelvio à 2810^m, pour passer du bassin du Pô dans celui du Danube.

Le long de l'Adriatique, les Alpes se continuent par les montagnes de la Croatie, du Monténégro et de la Serbie, avec les Balkans au nord, au sud les monts Rhodope et la chaîne du Pinde qui donne naissance aux collines de Grèce. Nous n'avons guère à citer dans ces régions très-montueuses, mais dont les sommets sont peu élevés, que le Dormitor (2260^m) en Herzégovine, le Kom (2290^m) au Monténégro, le Kriwosta (2440^m) en Roumélie; puis le géant des monts Rhodope, le Rilo Dagh (2815^m), et enfin les montagnes de Grèce dont nous avons déjà parlé.

Le Danube, qui reçoit les eaux du versant nord des Alpes, prend naissance dans le massif montagneux de la Forêt-Noire, où se voient quelques sommets moyennement élevés; après avoir couru vers l'est, il se heurte à la chaîne des Karpathes, dans laquelle se trouvent des cimes comme le Tatra (2655^m), le Gailuripi (2925^m), le Ruska-Poyana (3020^m), et qui le rejette au sud.

Les montagnes de l'intérieur de la France n'ont pas de quoi nous arrêter, au point de vue où nous sommes placés, puisque la plus élevée, le mont Dore, ne va qu'à 1890^m ; la petite chaîne qui traverse la Corse est plus intéressante : son point culminant, le monte Cinto, s'élève à 2710^m.

Mais les Pyrénées, sur une longueur de 150^{kil} et une largeur maximum de 120^{kil}, présentent un grand nombre de sommets qui, pour ne pas atteindre à la masse imposante ni à la hauteur des massifs alpins, sont cependant importants à considérer pour notre sujet. Ce sont d'abord, dans les Pyrénées orientales, le Canigou (2785^m), puis le Puigmal (2910^m) et le pic Corlitte (2920^m), dominant de chaque côté le col de la Perche (1620^m); enfin de ce col au val d'Aran, sur une crête fort élevée, une série de pics atteignent 2800^m, dont le plus élevé est le Montcalm (3090^m).

Au delà du val, les Pyrénées occidentales commencent par le massif de la Maladetta, qui contient leur point culminant : le pic de Nethou (3405^m). C'est ici le centre du massif pyrénéen, qui sur

une longueur d'une centaine de kilomètres présente un grand nombre de sommets dépassant 3000^m : le pic Perdighera (3220^m), le cylindre du Marboré (3330^m), le mont Perdu (3350^m), le Vignemale (3300^m), le Marmuré (2950^m), le pic du midi d'Ossau (2885^m) ; et, au nord de la chaîne principale, le pic Campvieil (3175^m) et le pic du midi de Bigorre (2880^m) sur lequel vient d'être établi un observatoire météorologique. Les passages ou *ports* de cette région présentent également une altitude considérable : port de Viella (2455^m), port de Vénasque (2420^m) ; le plus bas est le port de Gavarnie (2280^m), le plus élevé, le Portillon (3045^m).

En se dirigeant vers l'ouest, la chaîne s'abaisse rapidement ; puis, aux Pyrénées proprement dites font suite les monts Cantabriques, qui s'étendent jusqu'à la pointe de Galice. Sur toute cette étendue, à peine voit-on quelques sommets dépasser 2000^m. Dans le reste de l'Espagne, la sierra Guadarrama et la sierra de Gredos, qui dominent Madrid, et déversent sur elle le vent si redouté de la montagne, s'élèvent sur certains points à plus de 3000^m; enfin le long de la mer, au point culminant de la sierra Nevada, les deux sommets jumeaux du pic de Veleta (3470^m) et du Cerro de Mulhacen (3555^m), dépassent les plus hautes montagnes pyrénéennes.

Il n'y a plus, dans le reste de l'Europe, de montagnes qui puissent attirer notre attention. Le Ben-nevis, le plus haut sommet des îles britanniques, ne va qu'à 1330^m ; en Islande, l'Oräfa Jökull a 1950^m; dans les Alpes Scandinaves, les montagnes les plus élevées sont le Sneehätten (2300^m), le Skagstölstinder (2450^m), et le Ymes-Feldj (2600^m) ; dans l'Oural, on ne voit pas de sommets atteignant 2000^m : le plus élevé, le Töll-pos-Is, n'a que 1680^m.

Asie. — Mais, sur les limites de l'Europe et de l'Asie, une chaîne considérable, s'étendant de la Caspienne à la mer Noire, confinant au nord à des plaines, au sud aux régions montagneuses de l'Arménie dont nous suivrons tout à l'heure les ramifications, le Caucase, se couronne de sommets qui laissent bien au-dessous d'eux les Pyrénées et les Alpes elles-mêmes. Les pics de 3 à 4000^m y sont nombreux et ils sont dominés de haut par le Kasbek (5030^m), le Kaschtantan (5220^m) et l'Elbruz, auquel la légende attache Prométhée (5620^m). Une seule route carrossable traverse la chaîne au pied du Kasbeck, par les portes Caucasiennes des anciens, à une hauteur de plus de 3000^m.

Au sud de la chaîne Caucasique, le territoire montueux de l'Arménie voit s'élever une série de pics dont quelques-uns at-

teignent 4000^{m} : l'Alagös (4090^{m}), le Kapudschich (3920^{m}); au-dessus d'eux se dresse le Grand Ararat (5155^{m}). De ce massif part vers le S. O. la chaîne du Taurus, qui contient plusieurs sommets dépassent 3000^{m}, dont les plus élevés sont le Metdesis (3570^{m}) et le mont Argée (3840^{m}); dans le Liban, bifurcation du Taurus, le plus haut sommet, le Dor-el-Chodib, n'a que 3065^{m}. Au sud, les monts du Kurdistan, avec le Dschehil (4550^{m}) ; au sud-est, les monts Elburs, avec le Sawalan (4810^{m}) et le Démavend (5620^{m}), dominent les vastes plaines de l'Iran.

Le centre de l'Asie nous présente un système orographique bien plus complexe et des masses montagneuses bien autrement imposantes. Le voyageur qui remonte le Gange voit se dresser sur sa droite, du Boutan au Cachemire, sur une étendue de plus de 600 lieues, la formidable rangée des monts Himalaya ; entre leurs contre-forts parallèles descendent d'innombrables affluents au grand fleuve indien. C'est dans cette masse que se trouvent les montagnes les plus élevées du globe ; la ligne de faîte se maintient à une hauteur moyenne de 5 à 6000^{m} ; on compte par centaines les sommets dépassant 6000^{m} ; les pics de moins de 7000^{m} sont la plupart du temps dédaigneusement marqués sur les cartes anglaises par de simples numéros, et il semble que les montagnes ne méritent d'avoir un nom qu'à la condition d'atteindre 8000^{m}.

Nous citerons : dans le Boutan, le Dalla (7030^{m}), les monts Oodoo (7540^{m}), le Chamalari (7300^{m}) ; dans le Sikkim, le Doukia (7070^{m}) et le Kantschin-Janja (8580^{m}) ; celui-ci ne le cède qu'au Gaurisankar ou mont Everest dans le Népaul, la plus haute des montagnes du globe, qui dresse sa cime à la prodigieuse hauteur de 8840^{m} : c'est ce qu'on obtiendrait en entassant la Yung-frau (4170^{m}) sur le mont Rose (4640^{m}); c'est plus de sept fois la hauteur du Vésuve (1190^{m}). Encore dans le Népaul, le Jangmar (7930^{m}), le Djibjibia (8020^{m}), le Jassa (8135^{m}), le Marschiadi (8080^{m}), le Barathor (7950^{m}) et enfin le Dawalaghiri (8185^{m}), longtemps considéré comme le plus élevé de tous et que le Gaurisankar a détrôné.

Puis, la chaîne Himalayenne s'ouvre pour laisser passer la Setledj, qui va porter à l'Indus les eaux du versant nord et ceux du lac sacré de Manasarovar (4650^{m}). Au delà, elle se termine par l'extraordinaire intrication des montagnes du Cachemire, au milieu desquelles s'ouvre la délicieuse vallée de Srinagar, le « paradis terrestre » des Hindous.

A son extrémité orientale, l'Himalaya se relie aux monts Lang-

tan, le nœud des chaînes d'une hauteur relativement médiocre qui déterminent le relief de la Chine et de l'Indo-Chine.

L'Himalaya forme ainsi, sur son versant sud, comme le gigantesque talus d'un haut plateau montueux. C'est le Thibet, qui, sur une étendue immense, dépasse la hauteur de 5000^{m}, et dont les eaux, recueillies par le Brahmapoutra, courent d'abord vers l'Orient, puis, se heurtant aux montagnes de Chine, retournent au S. O. pour se mêler à celles du Gange. Au nord, ce plateau est borné par la chaîne du Kuen-Loun ; son extrémité occidentale est parcourue par celle du Karakorum, dont les sommets rivalisent avec ceux de l'Himalaya : tels le Dapsang (8620^{m}), le Diamer (8130^{m}), le Gusherbrum (8040^{m}).

Des cols, dont l'élévation grandit naturellement au fur et à mesure qu'on s'approche des lignes de faîte, permettent de franchir les contre-forts de ces chaînes principales, et enfin ces chaînes elles-mêmes. Beaucoup de ces *passes*, et des plus fréquentées, sont situées à plus de 5000^{m}; la passe fameuse de Karakorum est par 5650^{m}; la Yangi-Diwan Pass, une des routes du Cachemire à Khotan à travers le Kuen-Loun, a 5820^{m}; la plus élevée[1] de toutes celles de l'empire britannique, la passe de Parang, atteint 5835^{m}.

Le voyageur qui gravit les degrés de cette sorte d'escalier gigantesque, redescend entre chacun d'eux beaucoup moins qu'il n'a monté; il arrive ainsi sur un vaste plateau désolé; c'est le Pamir, que visita au treizième siècle Marco-Polo, le Bam-i-Dunya, c'est-à-dire le *toit du monde*, dont la hauteur moyenne dépasse 4500^{m}. Du côté de l'orient, ce toit s'incline pour former les plaines élevées de la haute Tartarie, et ses eaux, par le fleuve Tarim, vont se perdre au désert de Gobi. Vers l'occident, elles se rassemblent dans l'Oxus qui les conduit au lac d'Aral.

D'autres chaînes, d'une élévation absolue considérable, surgissent au-dessus de ces hauts plateaux. Au nord-est le Thian-Schan, dont le point culminant est le Bogda-Oola, borne le grand désert, et va rejoindre l'Altaï et l'arête montagneuse qui sépare le bassin de l'océan Glacial d'avec celui du Pacifique. Au sud-ouest, l'Hindou-Kouch, qui prolonge le Karakorum et ne lui cède pas en hauteur au début, va, par les monts du Korassan, se relier à la chaîne de l'Elburs. Au sud, le Soliman-Kouch longe le fleuve Indus.

[1] Harcourt, *On the Himalayan valleys : Kooloo, Lahoul and Spiti. Journal of the royal géogr. soc.*, t. XLI, p. 245-257; 1871.

Amérique. — Le système orographique de l'Amérique forme avec celui de l'Asie un contraste frappant. Il ne s'agit plus ici d'un massif central duquel s'étendent, comme autant de bras gigantesques, des chaînes divergentes. Tout au contraire, une arête, dont certains sommets ne sont dominés que par ceux de l'Himalaya, longe, de la Patagonie à l'Alaska, les rives de l'océan Pacifique. Dans sa partie la plus méridionale, la Cordillère est simple et d'une médiocre hauteur; mais en se dirigeant vers le nord, on voit graduellement grandir son élévation moyenne qui atteint deux maxima : en Bolivie et sous l'équateur. En même temps, pendant que son versant occidental reste toujours abrupte, à ce point que des montagnes de 6000^{m} sont parfois à moins de 20 lieues de la mer, apparaissent sur son flanc oriental des contre-forts dont l'importance va toujours grandissant, jusqu'à constituer en Bolivie un véritable massif de 100 à 150 lieues de largeur sur une hauteur moyenne de 4000^{m}, où se distinguent surtout deux chaînes parallèles déterminant la haute vallée du lac de Titicaca (3915^{m}). Ces deux chaînes, avec leur vallée intermédiaire entrecoupée de *nœuds*, où prennent naissance le Marañon et l'Ucayali, où sont bâties la Paz, Puno, Cuzco, Quito et d'autres villes, s'abaissent d'abord en s'étalant jusqu'au nœud de Pasco, puis se relèvent et atteignent leur point culminant juste sous l'équateur. Ici, l'arête orientale se bifurque à son tour et se termine à la mer, par la chaîne de Venezuela et la Nevada de Santa-Marta, dont le principal sommet, la Horqueta (5500^{m}), se dresse presque sur le bord de la mer des Antilles.

La Cordillère occidentale, singulièrement réduite en hauteur, forme ensuite l'isthme de Panama, longe le Pacifique dans l'Amérique centrale, se relève et s'étale au Mexique. De là partent, comme dans l'Amérique du Sud, deux grandes chaînes parallèles, mais cette fois beaucoup plus éloignées l'une de l'autre, et du reste beaucoup moins élevées. A l'est, la ligne de faîte des monts du Nouveau-Mexique, des montagnes Rocheuses, des monts des Chipways, sépare les eaux de l'Atlantique de ceux du Pacifique. La chaîne occidentale demeure voisine de l'Océan, et est interrompue dans son parcours pour le libre passage du Colorado et de la Columbia.

Sur l'immense étendue de cette arête montagneuse se dressent des montagnes, pour la plupart volcaniques, d'une prodigieuse hauteur. L'impertinence du chanoine Bourrit nous paraît grande d'avoir prétendu que « comparées aux Alpes suisses, ces montagnes de l'Amérique méridionale ne sont que des nains montés sur de

grands piédestaux[1] » ; il y a cependant un fonds de vérité dans son dire, et il n'est pas sans intérêt pour notre sujet.

Précisément sous l'équateur, des terrasses de la ville de Quito, l'œil étonné contemple onze montagnes volcaniques couvertes de neiges éternelles. Les unes, comme le Cayambe (5950ᵐ), l'Iliniza (5250ᵐ), le Chimborazo (6420ᵐ), sont aujourd'hui éteintes; d'autres, comme le Pichincha (4860ᵐ), l'Antisana (5880ᵐ), le Cotopaxi (5945ᵐ), lancent encore des fumées ou des flammes. On a pendant longtemps considéré le Chimborazo comme la cime la plus haute des Andes; c'est une erreur. Plus élevé encore est l'Aconcagua (6835ᵐ), dans les Andes du Chili, et surtout l'Illimani (7310ᵐ) et le Sorate (7560ᵐ) qui bordent le lac de Titicaca.

Une foule de montagnes, comme le Tolima (5525ᵐ), le Puracé (5185ᵐ) en Colombie; le Cotocachi (4950ᵐ), le Sangay (5044ᵐ), le Sinchalagua (5200ᵐ), le Tunguragua (5020ᵐ), le Llanganati (5395ᵐ), l'Altar (5240ᵐ), le Sara-urcu (5140ᵐ), dans la République de l'Equateur; le Misti (6100ᵐ), le Chipicani (6180ᵐ), le Jachura (5180ᵐ), le Tacora (5700ᵐ), le Parinacota (6330ᵐ), le Nevado Vilcanota (5360ᵐ), le Lirima (7470ᵐ), au Pérou ; le Sahama (7015ᵐ), le pic Farinacobo (6714ᵐ), le Gualatiéri (6690ᵐ), le Cerro de Potosi (6620ᵐ), l'Atacama (5300ᵐ), le Coolo (6870ᵐ), le Soololo (6795ᵐ), le Quenuta (6870ᵐ), le Pomarape (6580ᵐ), en Bolivie; la Nevada de Famatina (5820ᵐ) dans la République Argentine ; le Cerro del Plomo (5435ᵐ), la Cima del Mercedario (6800ᵐ), le Juncal (5960ᵐ), le Tupungato (6180ᵐ), le Maypu (5385ᵐ), le San-José (6100ᵐ), au Chili, dépassent de beaucoup les Alpes et même le Caucase[2].

Les passages qu'ont à franchir les voyageurs qui se rendent des côtes du Pacifique aux grandes villes de la Cordillère ou directement aux bassins de l'Orénoque, de l'Amazone ou de la Plata, atteignent toujours à leurs points culminants des hauteurs capables d'impressionner l'organisme. La grande route que les Incas avaient construite, de Cuzco à Quito, traverse le passage du nœud de l'Assuay à 4735ᵐ ; de Potosi à la Paz, le voyageur reste sans cesse à des hauteurs de 4000ᵐ et plus : le poste de Talapolco est à 4190ᵐ. Dans la République de l'Equateur, les passages par lesquels on peut aller de Quito à la mer sont par-delà 4000ᵐ; la route de Lima à Pasco

[1] *Nouvelle description des glacières et des glaciers des Alpes*, 2ᵉ éd., t. II, p. 87. — Genève, 1785.

[2] Outre les sources indiquées plus haut en note (page 4), j'ai fait pour ces hauteurs de nombreux emprunts à Klöden, *Handbuch der Erdkunde*, Berlin, 1869, et à Stein, édition de Wappens : *Handbuch der Geographie*, Leipzig, 1863-70.

passe à l'Alto de Lachagual, par 4710^m ; celle de Lima à Tarina, à 4800^m. Au Pérou, le col de Vilcanota, entre Cuzco et la mer, est à 4425^m ; la route d'Arequipa à Puno passe à 4750^m ; la maison de poste d'Ancomarca, entre Arica et la Paz, est à 4330^m ; la passe de Qualillas à 4420^m, celle de Tacora à 4390^m, et celle de Chullunquiani à 4620^m. Enfin, des deux chemins de fer qui traversent la Cordillère, celui qui va de Puerta Mejia au lac de Titicaca a son point culminant à Crucero (4460^m) : de là il se dirige sur Cuzco, se maintenant entre 3500 et 4300^m ; le dernier construit, entre le Callao et la Oroya, passe à 4760^m, dans un tunnel qu'il a fallu creuser ainsi presque à la hauteur du Mont-Blanc.

Mais la route la plus habituellement fréquentée jusqu'ici par les voyageurs, pour passer d'un océan à l'autre, était celle qui traverse les Andes de Mendoza à Santiago. Elle conduit en effet de Buenos-Ayres à Valparaiso (417 lieues), et de l'un ou de l'autre de ces points permet d'atteindre facilement par voie de mer, aux autres ports de l'Atlantique ou du Pacifique. Quatre passages se présentent, qui sont, du nord au sud : celui de « los Patos », de Cordova à San-Juan, longtemps abandonné ; celui du Cumbre d'Uspallata, plus fréquenté (3920^m) ; et celui du Portillo, qui force à traverser deux cols dont l'un n'a pas moins de 4360^m. Enfin, le dernier, qui est le moins élevé des Andes chiliennes, celui de Planchon, qui va droit au port de Conception, arrive encore à 2500^m de hauteur.

Sur le long parcours de l'Amérique centrale, la Cordillère se maintient à un niveau moyen ; seul, parmi les innombrables volcans dont elle est hérissée, celui d'Acatenango (4150^m), dans le Guatemala, dépasse 4000^m.

La ville de Mexico est, comme la ville de Quito, entourée de montagnes : le Toluca (4580^m), l'Ixtaccihualt (4790^m), le Chicle, au-dessus de laquelle passa en ballon Robertson le jeune, et le Popocatepetl (5420^m). Le Citlaltepetl ou pic d'Orizaba, (5400^m) en est éloigné d'environ 60 lieues.

Dans les montagnes Rocheuses, il faut noter surtout l'Uncompahgre Peak (4430^m) ; le Pike's Peak, au sommet duquel (4340^m) les Etats-Unis viennent d'installer un observatoire météorologique ; le mont Lincoln (4300^m) ; le Long's Peak (4310^m) et le pic Frémont (4130^m) entre lesquels passe à 2500^m de hauteur le grand chemin de fer de New-York à San-Francisco ; à côté l'un de l'autre, le mont Brown (4850^m) et le mont Hooker (5100^m). Les montagnes qui longent le Pacifique laissent passer l'Orégon entre la sierra Nevada de

Californie dont les sommets les plus élevés sont le mont Whitney (4500^{m}), le mont Tyndall (4380^{m}) et le mont Shasta (4400^{m}), et la chaîne des Cascades, avec le mont Baker (3390^{m}), le mont Hood (3420^{m}) et le mont Rainier (4400^{m}) comme points culminants.

A l'extrémité septentrionale se dressent, sur les bords même de l'Océan, les plus hauts sommets de l'Amérique du Nord, le mont Fairweather (4620^{m}) et le mont Saint-Elias (5440^{m}). Enfin, dans l'Alaska, le volcan Gorjaloja termine l'immense chaîne américaine, qui s'est ainsi allongée sur plus de 4500 lieues.

Afrique. — L'Afrique est loin de posséder des chaînes de montagnes qui se puissent comparer à l'Himalaya, aux Andes ou même aux Alpes. Cependant la ceinture montagneuse qui, à peu de distance de la mer, entoure les vastes plateaux de l'intérieur, se relève en divers points à des hauteurs notables. L'Atlas, qui, dans les possessions tunisiennes et françaises, n'atteint jamais 3000^{m}, les dépasse quelquefois au Maroc, où le mont Miltsin mesure 3470^{m}. En Abyssinie, le cercle montagneux qui entoure Gondar et le lac Zana s'élève sur certains points jusqu'à 4425^{m} (Abba-Jaret), même 4620^{m} (Raz-Daschan); la passe de Buhait est à 4520^{m}. Sur les bords de l'Atlantique, le pic de Fernando-Po monte à 3260^{m}, et, en face de lui, les monts Camerons, peut-être le θεῖον ὄχημα de Hannon, atteignent 4000^{m}. Dans la colonie de Natal, la chaîne du Drakenberg présente des sommets de plus de 3000^{m} : Cathkin Peak (3150^{m}). Enfin, presque sous l'Équateur, près des bords de l'océan Indien, les monts Kenia ont 5000^{m}, et le Kilimandjâro dresse sa cime éternellement neigeuse à 6110^{m}. Ajoutons que, dans l'intérieur, une montagne élevée a été signalée, dont les sommets dépassent 3000^{m}; c'est l'Alantika, qui se relie aux monts Camerons.

Iles. — Les îles, dont il nous reste à parler, ne contiennent qu'un petit nombre de montagnes dont la hauteur soit assez grande pour que leur ascension amène des troubles physiologiques. Le point culminant des Alpes australiennes, le mont Kosciusko, n'atteint que 2190^{m}. Mais, à la Nouvelle-Zélande, plusieurs dépassent 3000^{m}, et le géant de l'île du sud, le mont Cook, va jusqu'à 3770^{m}. La Nouvelle-Guinée contient plusieurs montagnes volcaniques qui ne le cèdent pas à celles de la Nouvelle-Zélande : l'Owen Stanley, la plus élevée, mesure 4020^{m}; mais je suis loin de compter parmi elles ce mont Hercule, haut de 10 929^{m}, dont un capitaine anglais, M. Lawson a annoncé tout récemment la découverte, et sur les flancs duquel il prétend avoir grimpé jusqu'à 8455^{m}. Dans l'île d'Hawaï,

parmi plusieurs volcans encore en action, le Mauna Loa s'élève à 4250^{m}, et le Mauna Kea à 4195^{m} ; dans l'île voisine de Maui, le Mauna Haleakala atteint 3110^{m}. Les innombrables volcans qui forment l'île de Java ont aussi de hauts sommets : le Gounong-Simeron mesure 3300^{m}, le Semerœ 3730^{m}. A Sumatra, je signalerai l'Indrapura (3870^{m}) et le Dempo (3300^{m}); à Bornéo, le Kini Ballu (4175^{m}). L'arête montagneuse de l'île Formose présente des sommets de 3 à 4000^{m}. Dans le Nipon, parmi d'autres montagnes élevées, le volcan Fusiyama, la « montagne sans pareille » domine à 4320^{m} de hauteur la rade de Yeddo. Enfin, au pôle Sud, les volcans élevés de la terre de Victoria, l'Érebus (3800^{m}), le Melbourne (4500^{m}), et, sur le cercle polaire du Nord, ceux du Kamtchatka, dont le plus haut est le Klioutchef (4805^{m}), terminent cette ceinture volcanique qui borde sur tout son pourtour américain ou asiatique l'océan Pacifique.

Dans l'île de Ceylan, le pic sur lequel les pèlerins vont adorer le Cri-Pada, la trace du pied de Boudha ou d'Adam, ne monte qu'à 2420^{m}. Les montagnes de Madagascar atteignent, dans leur point culminant, l'Ankaratra, 3350^{m}. Le Piton de Neige, à la Réunion, mesure 3070^{m}. Enfin, l'indication des volcans de Ténériffe (3715^{m}) et de l'Etna (3310^{m}) termine cette longue énumération de tous les lieux du globe dont l'élévation est assez grande pour que leur ascension puisse amener des troubles physiologiques dont la gravité attire forcément l'attention des voyageurs.

Résumé. — Tout ceci peut se résumer rapidement sous une forme saisissante. Supposons que la masse des eaux sur le globe augmente assez pour que le niveau des mers s'élève de 3000^{m}. Que resterait-il, émergeant au-dessus d'un océan presque sans limite?

La plus vaste terre serait formée par les hauts plateaux du Thibet, du Yokan, du Pamir, sur lesquels s'élèveraient de nombreuses montagnes de 4 à 5000^{m}; son étendue serait deux ou trois fois plus grande que celle de la France. On en verrait partir en divergeant des séries d'îles qui marqueraient la trace des chaînes du Thian-Shang, de l'Indou-kouch, du Soleiman, des montagnes du Yunam et de la Chine.

A l'autre extrémité d'un diamètre terrestre, une longue bande s'étendant de l'équateur au tropique du Capricorne, s'élargissant à ses deux extrémités et surtout au midi, dans la région correspondante à la Bolivie, se prolongerait vers le sud et vers le nord par des chapelets d'îles élevées et pressées les unes contre les autres : c'est tout ce qui resterait des Andes.

Le plateau d'Arménie, séparé des crêtes émergeantes du Caucase, constituerait une dernière terre beaucoup plus petite que les deux autres, que flanqueraient quelques sommets du Taurus et des monts Elburs.

Puis la région des Alpes serait devenue un archipel compliqué, avec îles et îlots innombrables, Oberland, Grisons, massif du mont Rose, massif du mont Blanc. Des Pyrénées il ne resterait que quelques sommets voisins de la Maladetta. Le Mulahacen et l'Etna émergeraient seuls encore en Europe.

De l'Afrique, on ne verrait que le croissant abyssinien et des points isolés : quelques îles dans l'Atlas marocain, le pic de Ténériffe, celui de Fernando-Po, les monts Camerons, le Kilimandjaro et le Kénia, quelques cîmes du Drakenberg, l'Ankaratra de Madagascar.

L'Amérique du Nord laisserait encore au-dessus des eaux un certain nombre de sommets appartenant aux volcans du Guatemala et du Mexique, aux montagnes Rocheuses, à celles des Cascades, à la sierra Nevada; plus au nord, le mont Saint-Élias, et les volcans de l'Alaska, faisant face à ceux du Kamtschatka. Enfin, de l'Océanie disparue il ne resterait plus que les volcans des terres australes, de la Nouvelle-Zélande, d'Haïti, de la Nouvelle-Guinée, des îles de la Sonde, de Formose et du Japon.

Ce sont ces régions, si réduites en surface, dont l'étude nous intéresse ici. La revue que nous en avons passée montre que toutes ces montagnes diffèrent singulièrement les unes des autres non-seulement par leur hauteur, mais par leur disposition générale. Les unes s'élèvent rapidement, d'un seul jet, pour ainsi dire, à leur hauteur totale; c'est le fait, par exemple, des montagnes insulaires et de celles du versant occidental de la Cordillère des Andes. Chez d'autres, les assises s'entassent progressivement les unes sur les autres, et des sommets d'une hauteur prodigieuse ne semblent pas, sur leurs bases élevées, égaler des pics isolés qu'ils dépassent en réalité. Nous montrerons, dans la troisième partie de cet ouvrage, que ces dispositions orographiques différentes ont une grande importance au point de vue de notre étude.

Neiges éternelles. — La latitude de ces montagnes n'en présente pas moins. Elle est en effet intimement liée à la question de température. Or, la limite à laquelle commencent les neiges éternelles traduit assez fidèlement celle-ci.

Dans nos Alpes et nos Pyrénées, vers 43-47° de latitude nord,

cette limite est un peu au-dessus de 2700^m; sur l'Etna (38° lat. N.) elle remonte à 2900^m. Dans les massifs montagneux du centre de l'Asie, du Pamir (40° lat. N.) aux monts du Boutan (27° lat. N.), elle oscille entre les hauteurs énormes de 4000 à 6000^m, plus élevée, tout naturellement, dans les régions les plus voisines de l'équateur, et aussi, fait très-curieux, sur le versant des montagnes qui regardent le nord; sur le Gaurisankar, les neiges n'apparaissent qu'à 5300^m au nord, tandis qu'on les voit déjà à 4900^m au sud; la chaîne du Karakorum est, sur certains points, dépouillée de neige jusqu'à 6500^m (Schlagintweit). En Abyssinie (13° lat. N.) la limite est par 4300^m environ, et au Kilimandjâro (3° lat. S.) on estime sa situation à un peu plus de 5000^m. La Cordillère, dans sa longue extension du Sud au Nord, ne saurait se prêter à une appréciation moyenne. Sous l'équateur, les volcans qui entourent Quito ne se laissent recouvrir par les neiges éternelles qu'à partir de 4800^m. D'une manière générale, ce niveau glacé s'abaisse à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur; ainsi au Popocatepetl (19° lat. N.), il n'est plus qu'à 4300^m. Mais dans les Andes de Bolivie, et particulièrement dans les montagnes qui bordent à l'ouest le lac Titicaca (16° lat. S.), il s'élève d'une manière singulière, jusqu'à atteindre 6000^m : bien supérieur à ce qu'on observe dans les montagnes de l'Est où il se maintient vers 4800^m. Dans les Andes du littoral Chilien, sur le volcan Corcobado (2290^m), par 43° lat. S., c'est-à-dire à la même distance de l'Équateur que la Maladetta, il n'est qu'à 1800^m. Sur le mont Hooker (52° lat. N.) il est à 2600^m, sur le mont Élias (60° lat. N.) à 1500^m, et sur le Bären-Berg (2096^m) de l'île de Jan Mayen (71° lat. N.), à 400^m seulement. Sur la Terre de Feu, au mont Sarmiento (2075^m), par 54° lat. S.; la limite n'est qu'à 1100^m, bien plus bas qu'au mont Élias, qui cependant est beaucoup plus près du pôle.

Êtres vivants. — L'extension de la végétation en hauteur varie comme la limite des neiges qui l'arrêtent perpétuellement. Tandis que dans nos Alpes la région des forêts se termine vers 1800^m, nous voyons, dans les Andes tropicales, la vigne, les quinquinas, les chênes, s'élever jusqu'à 3000^m. Dans l'Himalaya, la limite est bien plus reculée encore, puisqu'on cultive l'abricotier par plus de 3000^m, et que les bouleaux et les peupliers montent à 4200^m.

Les animaux suivent naturellement la végétation; les oiseaux n'échappent pas à cette règle, et si, sur les flancs du Chimborazo, on a vu quelquefois les Condors planer à la prodigieuse hauteur de 7000^m, cela tient à ce que 2 à 3000 mètres plus bas, les pâtu-

rages peuplés de Lamas, d'Autruches, etc., leur assurent une nour riture abondante.

Les habitations humaines obéissent à la même loi. Dans l'Europe centrale, on ne voit que peu de villages dépassant 1500^m; le plus élevé des Pyrénées, Porté, est par 1625^m; Saint-Véran, dans les Hautes-Alpes, et Soglio, dans les Alpes Rhétiennes, sont par 2050^m. Au-dessus, on ne trouve que quelques chalets inhabités en hiver. L'hospice du Saint-Gothard est à 2090^m, celui du Bernina à 2300^m; le plus haut des pâturages d'été que fréquentent les pâtres alpestres est celui de Fluhalpe, à 2550^m, et l'on sait que la population monacale de l'hospice du grand Saint-Bernard (2470^m) ne peut être entretenue que grâce au double attrait des récompenses célestes et des grasses prébendes italiennes promises aux moines après quelques années d'un pénible séjour sur la montagne.

Dans les montagnes Rocheuses, Central City est à 3460^m sur les flancs de Long's Peak (40° lat. N.).

Dans les Andes, ce ne sont pas seulement des villages, mais des villes populeuses qu'on trouve bâties, en grand nombre, sur les hauts lieux. Mexico est à 2290^m, Santa-Fé de Bogota à 2560^m, Quito, avec ses 60 000 habitants, à 2910^m, Cuzco à 3470^m, Micuipampa à 3620^m, la Paz à 3720^m, Puno à 3920^m, Tacora à 4170^m; Potosi, qui a compté jadis plus de 100 000 habitants, est par 4165^m, Oruro par 4090^m, Torata par 4175^m, Portugalete par 4290^m, Cerro de Pasco par 4350^m; au Pérou et en Bolivie, la plus grande partie de la population habite au-dessus de 3000^m[1]. Des villages, des métairies s'élèvent à des niveaux supérieurs encore. Les mines de Chouta sont exploitées à 4480^m, celles de Huancavelica, à 4655^m, celles de Villacota à 5042^m (Pissiz). La maison de poste de Rumihuani, dans l'Illimani, est à 4740^m. Le chemin de fer d'Aréquipa à Puno traverse, comme nous l'avons vu, la Cordillère à 4460^m de hauteur, et celui du Callao à la Oroya présente à son point culminant un tunnel situé à 4760^m; or ces travaux gigantesques ont nécessité le séjour prolongé d'un grand nombre d'ouvriers.

Dans l'Himalaya, l'homme a fixé sa demeure à des hauteurs tout aussi étonnantes. Selon les frères Schlagintweit, la capitale du petit Thibet, Leh, est bâtie à 3505^m; dans la même contrée, Muglab, Kibar, villes construites en pierre, sont à 4150^m et 4220^m; le village de Chushul, le plus élevé de l'Himalaya parmi ceux qui

[1] Jourdanet, *Influence de la pression de l'air sur la vie de l'homme*, t. I, p. 108. — Paris, 1875.

sont habités toute l'année, est à 4390m ; le monastère Bouddhique de Hanle, dans le Ladak, est à 4610m : une vingtaine de lamas y résident. Quant aux villages habités l'été seulement, ils sont fréquemment situés entre 4500m et 4900m; ainsi Norbu est à 4860m. En été, les troupeaux vont paître dans des pâturages qui atteignent 5000m, tels que celui de Larsa, à 4980m [1]. Sur les hauts plateaux du Vokhan et du Pamir, les Kirghises conduisent à 4700m leurs yaks et moutons. Le Mirza envoyé par M. Montgomerie au Thibet signale même un village, Thok-Djalank, à la hauteur extraordinaire de 4980m.

Les Andes et l'Himalaya comprennent les deux seules régions du globe où des populations qui se comptent par millions d'âmes vivent régulièrement au-dessus de 3000m. Déjà, sur les hauts plateaux du Mexique, les régions habitées par un grand nombre d'hommes descendent à 2000m environ; en Abyssinie, elles sont plus basses encore; Gondar est à 2220m et le village d'Endschetkab, qui paraît être le plus élevé de l'Abyssinie, à 2960m.

Il en est de même à peu près pour les habitants des montagnes arméniennes : Hispahan est bâti à 1340m, Erzeroum à 1860m et Kars à 1900m. En Europe, comme nous l'avons vu, le niveau s'abaisse encore.

Les hommes qui vivent à ces hauteurs sont assurément dans des conditions fort différentes de celles qui se rencontrent sur le bord de la mer. A 5500m, un litre d'air pèse juste moitié moins qu'au niveau de la mer; à 3300m, un tiers moins; à 2300m, un quart. Ces conditions particulières sont-elles avantageuses ou défavorables pour le développement matériel ou intellectuel de l'homme? C'est ce que j'essaierai de discuter dans la troisième partie de ce livre. Je dois rappeler, du reste, à mes lecteurs, que les influences lentes, progressives, que peuvent exercer sur les générations successives le séjour dans les hautes montagnes ne m'arrêteront que peu. Je renvoie, pour ces questions si importantes en hygiène et en politique, au livre remarquable de M. Jourdanet. Ici, et tout particulièrement dans cette partie consacrée à l'exposition des documents historiques, il ne sera question que des accidents soudains, manifestes, qu'amène chez les hommes et les animaux le changement brusque et considérable de niveau et par suite de pression barométrique. Aussi est-ce aux récits des voyageurs, racontant le plus souvent

[1] Schlagintweit, *Results of a scientific mission to India and High Asia. in* 1854-1858 3 vol. 1861-1863; t. II, p. 477.

leurs propres impressions, que je ferai appel dans les pages qui vont suivre.

J'ai divisé cet historique en trois chapitres distincts. Le premier contient les témoignages dont je viens de parler; je les ai classés par régions orographiques, et énumérés chronologiquement. Je n'ai certes pas la prétention d'être dans cette énumération absolument complet; mais je pense n'avoir rien laissé échapper de vraiment intéressant.

Dans le second sont rapportés les récits des aéronautes. Enfin, dans le troisième j'ai groupé les expériences de laboratoire, exécutées dans le but d'étudier l'influence de la pression diminuée, les interprétations théoriques qu'ont données *à priori* divers physiologistes des troubles observés pendant les ascensions de montagnes, et enfin les explications tentées par les voyageurs eux-mêmes, avec les opinions populaires sur ces étranges malaises. Je m'arrête, bien entendu, dans ce chapitre, aux discussions qu'ont soulevées mes propres recherches; mon but est de montrer quel était l'état de la science au moment où j'ai commencé mes expériences. Enfin, un dernier chapitre résume à la fois tous les faits observés et toutes les théories émises.

CHAPITRE PREMIER

LES VOYAGES EN MONTAGNES

---

§ 1er. — Amérique méridionale

C'est aux récits des voyageurs qui suivirent les premiers conquérants américains que nous devons la notion des accidents qui atteignent l'homme lorsqu'il s'élève à une certaine hauteur sur le flanc des montagnes. Il fallut, pour avoir cette connaissance élémentaire, que Cortez ait en 1519 attaqué le Mexique et que Pizarre, vingt-cinq ans plus tard, ait pris Quito et soumis le Chili et le Pérou. Cependant les conquérants eux-mêmes se préoccupèrent peu du surcroît de souffrances que leur apportait un mal inconnu; du moins, leurs historiens n'en parlent pas. Dans le récit des deux expéditions qui par l'ordre de Cortez montèrent, en 1519 et 1522, au cratère du Popocatepetl (5420^{m}), expéditions dont la dernière a été racontée en détails par Herrera[1], on ne voit pas que le mal des montagnes soit bien nettement indiqué.

Les compagnons (62 cavaliers et 102 fantassins) de François Pizarre, dans la marche téméraire qui, de la côte du Pacifique, les amena en octobre 1532 à Cuzco, au cœur de l'empire des Incas, durent franchir, à travers mille périls, les défilés élevés de la Cordillère des Andes. L'historien Xérès[2] qui raconte cette merveilleuse

[1] Voy. Jourdanet, *Influence de la pression de l'air sur la vie de l'homme.*— Paris, 1875, T. I, p. 212.
[2] *Relation véridique de la conquête du Pérou :* in *Collection de voyages pour servir à l'histoire de la découverte de l'Amérique,* par Ternaux-Compans, t. IV, Paris, 1837.

expédition, ne parle que « du grand froid que l'on éprouvait sur ces hauteurs ». Cependant, ils étaient au-dessous de la région des neiges perpétuelles; le sol était couvert d'une plante semblable à l' « esparto corto » (p. 65). Ferdinand Pizarre, envoyé par son frère de Caxamalca à Parcama et à Xauxa, traversa, le 3 mars 1533, « une grande montagne de neige, très-escarpée, où les chevaux entraient jusqu'au ventre » (p. 157); mais pas de plainte spéciale.

En 1534, Pedro de Alvarado entreprit avec 500 hommes et 225 chevaux la conquête du Pérou; débarqué au cap San-Francisco, il atteignit la route de Cuzco à Quito en un point situé au sud d'Ambato; il est donc évident qu'il effectua le passage des Andes aux environs du Chimborazo. Il dut s'y élever à une hauteur dépassant 4800^m, puisqu'il se trouva au milieu des neiges; les souffrances de son armée furent terribles :

Il mourut, d'après Herrera, quinze Castillans et six femmes, plusieurs nègres et deux mille Indiens. Quand ils sortirent des neiges, ils avaient tous des figures cadavériques. Plusieurs Indiens qui en échappèrent perdirent les doigts et même les pieds; quelques-uns restèrent aveugles.

La grande expédition de don Diégo d'Almagro, à la conquête du Chili, amena des résultats plus effroyables encore. Sorti de Cuzco, en 1535, il voulut passer par la montagne, malgré ses capitaines. L'Inca Garcilasso de la Vega[1] a fait des souffrances de l'armée un récit saisissant :

Comme il se fut engagé dans un si rude païs, il en porta la peine bien-tost après : car, à quelques journées de là, ils trouvérent d'étranges obstacles dans la route qu'ils prirent. Le premier fut qu'ils ne pouvoient marcher à cause des neiges.... le second, que les vivres commencèrent à leur manquer.... et le troisième, que, suivant la supputation des cosmographes et des astrologues, les Montagnes portant leur sommet jusques dans la moyenne Région de l'air, le rendoient si froid, pource que tout y est couvert de neige, principalement en un temps tel que celuy que nos Advanturiers avoient pris, qui estoit en Hyver, à le prendre selon l'ordre de leurs saisons, aux jours les plus courts, et les plus froids de l'année; qu'il y eut quantité d'Espagnols, de Nègres, d'Indiens et de chevaux, qui furent gelez et transis de froid. Mais les Indiens entr'autres, pour estre vestus à la légère en eurent la meilleure part. De 15000 qu'ils estoient, il y en eut plus de 10000 de morts et plus de 150 du costé des Espagnols,...

C'est probablement par les régions élevées de Tacora, sur la route

[1] *Histoire des guerres civiles des Espagnols dans les Indes.* Trad. de Baudoin, p. 200. — Paris, 1650. (L'ouvrage original a été publié à Cordoue en 1613.) Liv, II, chap. xx, t .I.

entre la Paz et Arica, que se fit cette campagne, si malencontreusement entreprise en plein hiver austral.

En 1541[1], peu de temps après la mort de Pizarre, quatre espagnols qui faisaient partie d'une expédition sortie de l'Assomption, sous les ordres de Irala, se rendirent à Lima, en passant par Potosi et Cuzco. Un envoyé du gouverneur du Pérou avait fait le même chemin, « Miguel Ruedo et Ahaic étaient tellement épuisés par les fatigues de la route, dit Ulrich Schmidel, qui faisait partie de l'expédition, qu'ils furent obligés de rester à Potosi (p. 222). »

Ces récits, comme on le voit, ne mettent en avant pour expliquer les souffrances et les désastres, que la fatigue, le manque de vivres et le froid. C'est au Père jésuite Acosta[2], qui voyageait dans l'Amérique du Sud, vers la fin du seizième siècle, que revient l'honneur d'avoir signalé le premier des souffrances spéciales dues à une cause spéciale, l'air des lieux élevés. Ajoutons qu'il en a donné une description saisissante :

Je copie dans la traduction qu'imprima à Paris, en 1596, Robert Regnault Cauxois, la partie la plus intéressante de son récit :

En certains endroits des Indes, l'air et le vent qui y court estourdit les hommes, non pas moins, mais davantage qu'en la mer....

Il y a au Péru une montagne haute qu'ils appellent Pariacaca, et ayant ouï dire et parler du changement qu'elle causoit, j'allois préparé le mieux que ie pouvois selon l'enseignement que donnent par delà ceux qu'ils appellent Vaquianos ou experts : mais néantmoins toute ma préparation, quand ie vins à monter les escalliers qu'ils appellent, qui est le plus haut de ceste montagne, ie fus subitement atteint et surprins d'un mal si mortel et estrange, que ie fus presque sur le point de me laisser choir de la monture en terre, et encor que nous fussions plusieurs de compagnie, chacun hastoit le pas sans attendre son compagnon, pour sortir vistement de ce mauvais passage. Me trouuant donc seul avec un Indien, lequel ie priay de m'aider à me tenir sur la monture, ie fus épris de telle douleur de sanglots et de vomissement, que ie pensay jetter et rendre l'âme. D'autant qu'après auoir vomy la viande, les phlegmes et la colère, l'une jaune et l'autre verde, ie vins iusque à jetter le sang, de la violence que ie sentois en l'estomach, ie dis enfin, que si cela eust duré, i'eusse pensé certainement estre arrivé à la mort. Cela ne dura que trois ou quatre heures, iusques à ce que nous fussions descendus bien bas, et nous fussions arrivez en une température plus conuenable au naturel, oû tous nos compagnõs, qui estoyent quatorze ou quinze, estoyent fort fatiguez, quelques uns cheminans demandoient confession pensans réellement mourir, les autres mettoyent pied à terre, et estoyent perdus de vomis-

[1] *Histoire véritable d'un Voyage curieux dans l'Amérique de* 1534 à 1554. In collection Ternaux-Compans, t. V.

[2] Acosta (José de) *Historia Natural y Moral de las Indias : en que se trata de cosas notàbles del Cielo, de los elementos, metales, plantas, y animales*, etc. (Sevilla, 1590).

sement, et de force d'aller à la selle, et me fut dict qu'autrefois quelques uns y auoyent perdu la vie de cest accident. Je veis un homme qui se despitoit contre terre, s'escriant de rage et de douleur que luy auoit causé le passage de Pariacaca. Mais ordinairement il ne fait point aucun dommage qui importe, autre que cest ennuy et fascheux desgout qu'il donne pendant qu'il dure. Et ce n'est pas seulement le pas de la montagne Pariacaca, qui a ceste propriété, mais aussi toute ceste chaîne de montagnes qui court plus de cinq cens lieuës de long; et en quelque endroit que l'on la passe, l'on sent ceste estrange intempérature, combien que ce soit en quelques endroits plus qu'ès autres, et plus à ceux qui montent du costé de la mer, qu'à ceux qui viennent du costé des plaines, ie l'ay passée mesme outre de Pariacaca par Lucanas et Soras, et en autre endroit par Colleguas, et en autre par Cauanas, finalement par quatre lieux différens en diuerses allées et venues, et tousiours en cest endroit ay senty l'alteration et estourdissement que i'ay dict, encor qu'en nul endroit ce n'a esté tellement que la première fois en Pariacaca, ce qui a esté experimenté par tous ceux qui y ont passé. . . . .

Et non-seulement les hommes sentent ceste alteration, mais aussi les bestes, qui quelques fois s'arrestent de sorte qu'il n'y a esperon qui les puisse faire aduancer. De ma part, ie tiens que ce lieu est un des plus hauts endroits de la terre qui soit au monde. . . . .

Toute ceste chaine de montagnes est communement deserte, sans aucuns villages ny habitations des hommes, de sorte qu'à peine l'on y trouve des petites maisons ou retraittes pour y loger les passans de nuict. Il n'y a non plus d'animaux, ou bons ou mauuais, si ce n'est quelques Vicunos qui sont des moutons du pays, lesquels ont une propriété estrange et merueilleuse, comme ie diray en son lieu. L'herbe y est souventes fois bruslée, et toute noire de l'air que ie dis, et ce desert dure comme vingt cinq à trente lieuës de trauerse, et contient de longueur, come i'ai dict, plus de cinq cens lieuës (p. 87).

Cette description faite, et l'on avouera qu'il n'était pas possible de joindre avec plus d'art l'exactitude au pittoresque, Acosta cherche la cause de ces malaises qu'il dit avoir ressentis encore en quatre autres passages de la grande Cordillère. Nous rapporterons dans le chapitre consacré au résumé des explications théoriques les idées du Révérend, idées véritablement merveilleuses de prévoyance et de lucidité.

Il est difficile de déterminer exactement le point où passa Acosta : Pariacaca est un nom disparu au Pérou comme à l'Équateur. Il est à peu près certain qu'il se trouvait au-dessous de la limite des neiges, car son récit, si exact et si détaillé, n'en parle pas; sa hauteur au-dessus du niveau de la mer était donc probablement de 4500^{m} au plus.

Il est très-curieux de voir qu'après avoir si admirablement décrit et expliqué les sensations pénibles qu'il avait éprouvées en traversant les hautes montagnes, Acosta ne songe pas à en tirer parti pour rendre compte des désastres subis par les armées espagnoles.

Il les connaissait fort bien, cependant, il en parle; mais ici sa netteté d'esprit semble l'abandonner :

Il y a d'autres déserts ou lieux inhabités, qu'ils appellent au Péru Punas (pour parler du second poinct que nous auons promis) où la qualité de l'air tranche les corps et la vie des hommes, sans le sentir. Au temps passé les Espagnols cheminoyent du Péru au Royaume de Chillé, par la montagne : aujourd'huy l'on va ordinairement par mer, et quelques fois le long de la coste : et combien que le chemin y soit ennuyeux et fascheux, il n'y a pas toutes fois tant de danger, qu'en l'autre chemin de la montagne, où il y a des plaines, au passage desquelles plusieurs hommes sont morts et peris, et d'autres en sont eschappez par grande aduanture, dont les uns sont demeurez estropiez. Il court en cest endroit un petit air qui n'est pas trop fort n'y violent. Mais il pénetre de telle façon, que les hommes y tombent morts quasi sans se sentir, ou bien les doigts des pieds et des mains y demeurent : ce qui pourra sembler chose fabuleuse, et toutes fois c'est chose véritable. J'ai cogneu et long temps fréquenté le general Hierosme Costilla ancien peupleur de Cusco, qui auoit perdu trois ou quatre doigts de pieds, qui lui tomberent en passant les deserts de Chillé, par ce qu'ils auoient esté atteints et penetrez de ce petit air, et quand il les vint à regarder il estoient desia tous morts et tombèrent d'eux mesmes sans luy faire aucune douleur, tout ainsi que tombe de l'arbre une pome gastée. Ce capitaine racontoit que d'une bonne armée qu'il auoit conduite et passée par ce lieu les années précedentes, depuis la descouverte de ce Royaume faicte par Almagro, une grande partie des hommes y demeurerent morts, et qu'il y vid les corps estendus parmy le desert, sans aucune mauuaise odeur ni corruption.... Sans doute, c'est un genre de froid que cestuy-la si penetrant qu'il esteint la chaleur vitale en coupant son influence : et d'autant qu'il est aussi très-froid il ne corrompt ny donne putrefaction aux corps morts, parce que la putréfaction procède de chaleur et d'humidité (p. 89).

Un célèbre historien espagnol, qui écrivait peu de temps après Acosta, Antonio d'Herrera, s'empara des idées du savant jésuite, et, sans le citer, copia presque intégralement les passages que nous venons de mettre sous les yeux de nos lecteurs[1]. Mais il est évident qu'il ne put comprendre en son entier l'explication d'Acosta; il serait au moins inutile de reproduire ici son chapitre : *Des causes pour lesquelles est si périlleux le passage des « Puertos Nevados » qui vont au Chili, et de ceux de la province de Quito que traversèrent Belalcazar et Alvarado avec leurs armées.*

Un siècle et demi s'écoule sans que les historiens et les voyageurs parlent des troubles physiologiques qu'avait signalés Acosta. Les Lettres édifiantes[2], où se trouvent tant de détails, puérils le plus souvent, intéressants parfois, n'y font aucune allusion, bien que leurs écrivains se soient évidemment trouvés plusieurs fois dans les

[1] *Historia general de los Hechos de los Castellanos en las islas y tierra firme del mar Océano.* Madrid, 1615, Decada V, Libro X, Capitulo V, T. III, p. 29, I.
[2] *Nouvelle édition,* t. VI, VII, VIII, IX. — Paris, 1781.

mêmes conditions que leur prédécesseur. Mes recherches dans les auteurs du dix-septième siècle ne m'ont rien fait trouver se rattachant à notre sujet.

Mais un document publié au commencement du dix-huitième siècle nous montre que dans les Andes mêmes, on savait depuis longtemps que, sur certains points, des accidents plus ou moins graves atteignent les hommes et les animaux. Nous y trouvons même une explication qui se reproduira jusqu'à l'époque actuelle. Un français, Frezier[1], visita de 1712 à 1714 les côtes du Chili et du Pérou ; il parle longuement des mines si riches de l'intérieur du pays, et après avoir discuté sur l'origine des métaux, il ajoute :

Il est certain qu'il sort continuellement de fortes exhalaisons des mines : les Espagnols qui vivent au-dessus sont obligés de boire très-fréquemment de l'herbe du Paraguay ou Maté, pour s'humecter la poitrine, sans quoi ils subissent une sorte de suffocation. Les mules mêmes qui passent dans ces endroits, quoique beaucoup moins rudes et montueux que d'autres, où elles vont en courrant, sont obligées de se reposer presque à tout moment pour reprendre haleine. Mais ces exhalaisons sont bien plus sensibles en dedans ; elles font un tel effet, sur les corps qui n'y sont pas accoutumés, qu'un homme qui y entre pour un moment, en sort comme perclus........ Les Espagnols appellent ce mal *Quebrantahuessos*, c'est-à-dire qui brise les os (p. 150).

Frezier n'eut point occasion de faire d'observations personnelles. Mais quelques années plus tard, en 1736, trois académiciens français, Bouguer, La Condamine et Godin, s'en allèrent au Pérou pour y mesurer un degré du méridien. C'est à partir de cette expédition célèbre que les accidents de la décompression commencent à être étudiés et scientifiquement commentés. Les savants astronomes séjournèrent pendant dix ans sur les régions élevées de l'équateur. Dans une de leurs courses, Bouguer et La Condamine demeurèrent trois semaines sur le Pichincha, à une hauteur de 4860^{m} environ. Là, ils éprouvèrent des accidents que Bouguer[2] décrit dans les termes suivants :

Nous nous sommes tous trouvés d'abord considérablement incommodés de la subtilité de l'air ; ceux d'entre nous qui avaient la poitrine plus délicate sentaient davantage la différence et étaient sujets à de petites hémorrhagies, ce qui venait

[1] *Relation du voyage de la mer du Sud aux côtes du Chily et du Pérou,* fait pendant les annéés 1712, 1713 et 1714. Paris, 1716.

[2] *Relation abrégée du voyage fait au Pérou, par MM. de l'Académie royale des sciences, pour mesurer les degrés du méridien aux environs de l'équateur, et en conclure la figure de la terre. — Mémoires de l'Académie des sciences de Paris,* 1744, p. 249-297.

sans doute de ce que l'atmosphère, ayant un moindre poids, n'aidait pas assez par sa compression les vaisseaux à retenir le sang, qui de son côté était toujours capable de la même action. Je n'ai pas remarqué dans mon particulier que cette incommodité augmentât beaucoup lorsqu'il nous est arrivé ensuite de monter plus haut ; peut-être parce que je m'étais déjà fait au pays, ou peut-être aussi parce que le froid empêche la dilatation de l'air d'être aussi considérable qu'elle le serait sans cela. Plusieurs d'entre nous, lorsque nous montions, tombaient en défaillance et étaient sujets au vomissement ; mais ces accidents étaient encore plus l'effet de la lassitude que de la difficulté de respirer..... Nous éprouvions parfois un froid très-rigoureux, tandis que le thermomètre n'en indiquait qu'un médiocre (p. 261).

Bouguer développe alors une thèse dont nous parlerons dans le troisième chapitre; pour lui, les accidents éprouvés sont dus en partie à la fatigue, en partie à une sorte de scorbut.

Je n'ai pu trouver dans les deux volumes que La Condamine[1] consacre au récit de son voyage, et qui sont, du reste, à moitié remplis par ses violentes contestations avec Bouguer, que le passage suivant relatif à son séjour sur le Pichincha :

Don Antoine d'Ulloa, en montant avec nous, tomba en faiblesse et fut obligé de se faire porter dans une grotte voisine.... Je ne ressentis en mon particulier aucune difficulté dans la respiration. Quant aux affections dont M. Bouguer fait mention et qui désignent apparemment la disposition prochaine à saigner des gencives, dont je fus alors incommodé, je ne crois pas devoir l'attribuer au froid du Pitchincha, n'ayant rien éprouvé de pareil en d'autres parties aussi élevées, et le même accident m'ayant repris 5 ans après à Cotchesqui, dont le climat est tempéré. (T. I, p. 35.)

Mais les renseignements les plus circonstanciés et les plus précis nous sont fournis par don Ulloa, jeune officier de marine que le gouvernement espagnol avait envoyé pour protéger la mission française, et qui joua plus tard un grand rôle dans sa nation. Dans ses récits[2] paraît à la fois l'histoire des accidents éprouvés d'une manière transitoire par les ascensionnistes, et ceux qui sont la suite du séjour de plusieurs mois dans certaines régions de la Cordillère des Andes. C'est aussi pour la première fois qu'on y trouve l'indication des services que peut rendre à la thérapeutique le séjour dans les lieux élevés :

Ceux qui ne sont pas habitués à fréquenter ces endroits-là sont encore exposés à une autre incommodité, outre le froid dont nous venons de parler ; c'est

[1] *Journal du voyage fait par ordre du Roi, à l'équateur.* — 2 vol., Paris, 1751.
[2] *Mémoires philosophiques, historiques, physiques, concernant la découverte de l'Amérique. Trad. française*, T. I[er], 1787.

le *Maréo* de la *Puna* : et il est rare qu'ils n'en soient pas attaqués. C'est une maladie toute semblable à celle qu'on éprouve en se mettant en mer : elle en présente tous les symptômes et suit le même ordre. La tête tourne ; on sent de très-grandes chaleurs ; et il survient des nausées pénibles, suivies de vomissements bilieux. Les forces tombent, le corps s'abat, la fièvre s'y joint ; et le seul soulagement qu'on y trouve c'est de vomir. Certains sujets y sont même si abattus, qu'ils donneraient de l'inquiétude, si on n'était certain que ce n'est autre chose que ce *Maréo*. Cela dure ordinairement un jour ou deux, après quoi la santé se rétablit. Cette incommodité est plus ou moins considérable selon la disposition naturelle des personnes ; mais peu y échappent. Lorsqu'on l'a une fois éprouvée, il est extraordinaire qu'on en soit repris en passant par *Puna* ou en y venant des pays bas, ou de toute contrée dont la température est chaude. (p. 116). . . . . .

On observe encore dans ces climats un autre accident auquel les animaux sont sujets. Dès qu'ils passent des plaines à ces éminences ou Punas, comme des pays où il y a des habitations aux cimes qui les environnent, la respiration leur devient si difficile, que malgré les différentes pauses qu'ils font pour reprendre haleine, ils tombent et meurent là. (p. 118.)

Ulloa discute alors les diverses explications proposées de son temps pour rendre compte de ces phénomènes, et repousse avec force l'idée des émanations toxiques dues aux minéraux enfouis dans la terre, idée qui domine encore aujourd'hui chez les populations et même dans les classes éclairées de la Bolivie et du Chili. Puis il ajoute :

Les hommes qui arrivent nouvellement dans ces climats éprouvent aussi quelque chose d'analogue à ce que j'ai dit des animaux ; ils sentent en marchant une fatigue comme suffocante et très-pénible, qui les oblige de se reposer longtemps ; cela leur arrive même dans le plat pays ; or, il ne peut y avoir d'autre cause de ce phénomène que la subtilité de l'air ; mais à mesure que les poumons se font à cette atmosphère, la gêne devient moindre. Cependant on y éprouve toujours quelque difficulté de respirer lorsqu'on veut monter quelque côte ; ce qui est inévitable, mais ce qu'on ne sent point dans les autres contrées où l'atmosphère a une densité régulière.

Cette légèreté de l'air devient favorable aux asthmatiques devenus tels dans un air plus épais. Cet asthme y est connu sous le nom de *ahogos* ou *suffocation ;* il y est même assez commun : c'est pourquoi ceux qui en sont attaqués dans les basses contrées se rendent dans les hautes ; quoiqu'ils n'y guérissent pas entièrement, ils y vivent cependant sans peine : ceux au contraire qui sont devenus tels dans les hauts pays, se trouvent bien dans les bas ; ainsi, le changement d'air devient un soulagement assuré dans cette espèce d'incommodité. La médecine pourrait tirer parti de ces expériences, en envoyant les malades d'une contrée dans une autre, quoiqu'il n'y eût pas ailleurs une aussi grande différence dans l'élévation des terrains.

On remarque aussi à certain point la difficulté de respirer dans les hautes contrées de la province de Quito, mais elle y est moins pénible : cela vient sans doute de ce que l'une de ces contrées est sous l'équateur, ou très-près, tandis que l'autre en est éloignée. On en a conclu que les *Punas* ou cimes du Pérou sont moins froides et l'air moins âpre que dans les autres contrées. Mais il est

bon d'observer que ce qui a été dit de Guancavelica est général pour tous les terrains qui se prolongent vers le sud.

Pour mieux faire comprendre ces détails, j'observerai ici que ce qu'on appelle *Punas* au Pérou, se nomme *Paramo* au royaume de Quito. (P. 120.)

C'est dans la dernière année du dix-huitième siècle que l'illustre Alexandre de Humboldt entreprit ce grand voyage dans l'Amérique méridionale, qui fut l'origine de tant de découvertes importantes pour l'histoire de l'homme, la physique du globe et l'histoire naturelle[1]. En 1802 il séjourna sur le plateau élevé de Quito, que dominent les sommets gigantesques du Pichincha, du Cotopaxi, du Chimborazo et de l'Antisana.

Il fit en mars et en juin 1802, sur ces deux derniers volcans, des ascensions demeurées célèbres ; il en donna de suite un récit succinct dans deux lettres, écrites le même jour, et dont je reproduis les passages intéressants à notre point de vue.

La première est adressée au citoyen Delambre; elle parle surtout de l'ascension du Chimborazo :

On a cru jusqu'ici à Quito que 2470 toises étaient la plus grande hauteur à laquelle les hommes peuvent résister à la rareté de l'air. Au mois de mars 1802, nous passâmes quelques jours dans les grandes plaines qui entourent le volcan d'Antisana, à 2107 toises, où les bœufs, quand on les chasse, vomissent souvent du sang.... Le 16 mai, nous reconnûmes un chemin sur la neige, une pente douce sur laquelle nous montâmes à 2773 toises. L'air y contenait 0,218 d'O.... le thermomètre de Réaumur n'était qu'à + 15° ; il ne fit pas froid du tout, mais le sang nous sortait des lèvres et des yeux. (P. 174.)

. . . .

Dans l'expédition que je fis le 23 juin 1802 au Chimborazo, nous avons prouvé qu'avec de la patience on peut soutenir une plus grande rareté de l'air. Nous passâmes 500 toises plus haut que la Condamine au Corazon, et nous portâmes au Chimborazo des instruments à 3031 toises, voyant descendre le mercure dans le baromètre à 13 pouces 11,2 lignes: le thermomètre était de 1°,3 au-dessus de zéro. Nous saignâmes encore des lèvres. Nos Indiens nous abandonnèrent comme de coutume. Le citoyen Bompland et M. Montufar, fils du marquis de Selvalègre, de Quito, étaient les seuls qui résistaient. Nous sentîmes tous un malaise, une débilité, une envie de vomir, qui certainement provient autant du manque d'oxigène de ces régions que de la rareté de l'air. Je ne trouvai que 0,20 d'O. à cette immense hauteur. (P. 175.)

L'autre lettre est adressée à son frère Guillaume de Humboldt;

[1] *Voyage aux régions équinoxiales du nouveau continent, fait en* 1799-1804. — Paris. 1814.

[2] *Lettre de M. Humboldt adressée au citoyen Delambre, datée de Lima le* 25 *novembre* 1802. — *Ann. du Muséum d'histoire naturelle*, T. II, p. 170-180, an XI (1803).

il y est, plus que dans la précédente, parlé de l'ascension au volcan d'Antisana[1] :

A notre voyage au volcan d'Antisana le temps nous favorisa si bien, que nous montâmes jusqu'à la hauteur de 2773 toises. Le baromètre baissa dans cette région élevée, jusqu'à 14 pouces 7 lignes, et le peu de densité de l'air nous fit jeter le sang par les lèvres, les gencives et les yeux même ; nous sentions une faiblesse extrême, et un de ceux qui nous accompagnaient dans cette course s'évanouit....

. . . .

Nous avons réussi à nous approcher jusqu'à environ 250 toises près de la cime de l'immense colonne du Chimborazo.... Nous montâmes jusqu'à une hauteur de 3031 toises, et nous nous sentîmes incommodés de la même manière que sur le sommet de l'Antisana. Il nous restait même encore, 2 ou 3 jours après notre retour dans la plaine, un malaise que nous ne pouvions attribuer qu'à l'effet de l'air dans ces régions élevées, dont l'analyse nous donna 20 centièmes d'oxygène. (P. 329.)

Trente-cinq années plus tard[2], de Humboldt revint avec détails sur le récit de ces ascensions. Il insiste tout spécialement sur les troubles physiologiques et développe à ce propos quelques considérations théoriques fort intéressantes.

Le 22 juin 1802, il se trouvait dans la plaine de Tapia, à 2890^{m} de hauteur. La première partie de l'ascension ne présenta rien de remarquable pour la question qui nous occupe :

Arrivés à 15,600 pieds tous les Indiens, à l'exception d'un seul, nous abandonnèrent.... Ils prétendaient souffrir beaucoup plus que nous. Nous ne restâmes donc plus que quatre : M. Bonpland...., M. Carlos Montufar...., un métis de San-Juan, village voisin, et moi. (P. 413.). . . . .

. . . .

Nous commençâmes tous, par degrés, à nous trouver très-mal à notre aise (ils étaient alors à environ 5,800 mètres). L'envie de vomir était accompagnée de quelques vertiges et bien plus pénible que la difficulté de respirer. Le métis de San-Juan, paysan pauvre et robuste, qui avait voulu nous suivre jusqu'au bout par bonté d'âme et nullement par un motif d'intérêt, souffrait plus que nous. Nos gencives et nos lèvres saignaient. La tunique conjonctive des yeux était chez nous tous, sans exception, gorgée de sang. Ces symptômes d'extravasion dans les yeux et d'éruption sanguine anx gencives et aux lèvres n'avaient rien d'inquiétant pour nous, puisque nous les connaissions par un grand nombre d'exemples. En Europe, M. Zumstein commença à rendre du sang à une hauteur beaucoup moins considérable, sur le mont Rose[3]. (P. 417.). . . . .

. . . .

[1] *Extrait de plusieurs lettres de M. de Humboldt, Ann. du Muséum,* t. II, p. 322-337, an XI (1803).

[2] De Humboldt (Alexandre), *Notice sur deux tentatives d'ascension au Chimborazo. Ann. de chim;* 2e série ; t. LXIX, p. 401-434 ; 1838. Traduit par Eyriès du *Jahrbuch de Schumacher* pour 1837.

[3] Je n'ai pu trouver cette indication dans les récits de Zumstein.

Une fois, sur le volcan de Pichincha, je ressentis, sans aucun saignement, un si violent mal d'estomac, accompagné de vertige, que mes compagnons me retrouvèrent étendu sans connaissance à terre. L'altitude n'était que de 13,800 pieds (4480^{m}), et par conséquent peu considérable. Mais sur l'Antisana, à la grande hauteur de 17,022 pieds (5527^{m}), don Carlos Montufar saigna beaucoup des gencives. Tous ces phénomènes sont très-dissemblables, suivant l'âge, la constitution, la finesse de la peau, les efforts antérieurs musculaires qu'on a exercés ; cependant ils sont pour chaque individu une sorte de mesure de la raréfaction de l'air et de l'altitude à laquelle on est parvenu. D'après mes observations ils se manifestent dans les Andes chez l'homme blanc, quand le baromètre se tient entre 14 pouces et 15 pouces 10 lignes. (P. 418.)

Nous verrons plus tard quelles opinions successives, et notablement différentes, s'était faites l'illustre naturaliste sur l'explication de ces phénomènes divers.

Mais avant de passer à d'autres récits, je dois reproduire ici un fragment d'un des ouvrages de Humboldt[1], dans lequel il donne sur l'habitat ordinaire du Condor et sur la hauteur maximum à laquelle on le voit s'élever, des renseignements pleins d'intérêt pour le sujet de notre étude.

La région que l'on peut regarder comme le séjour habituel du condor commence à une hauteur égale à celle de l'Etna, et comprend des couches d'air élevées de 1,600 à 3,000 toises au dessus du niveau de la mer. Les plus grands individus que l'on trouve dans la chaîne des Andes de Quito, ont 14 pieds d'envergure, et les plus petits 8 pieds seulement. D'après ces dimensions et d'après l'angle visuel sous lequel cet oiseau paraissait quelquefois perpendiculairement au-dessus de nos têtes, on peut juger à quelle hauteur prodigieuse il s'élève quand le ciel est serein. Vu, par exemple, sous un angle visuel de quatre minutes, il devait être à un éloignement perpendiculaire de 1,146 toises. La caverne (machay) d'Antisana, située vis-à-vis la montagne de Chuesulongo, et de laquelle nous mesurâmes l'oiseau planant, est élevée de 2,493 toises au-dessus du niveau du Grand-Océan. Ainsi la hauteur absolue que le condor atteignait, était de 3,639 toises ; là le baromètre se soutient à peine à douze pouces. C'est un phénomène physiologique assez remarquable, que ce même oiseau qui, pendant des heures entières, vole en tournant dans des régions où l'air est si raréfié, s'abatte tout d'un coup jusqu'au bord de la mer, comme le long de la pente occidentale du volcan de Pichincha, et ainsi en peu d'instants parcoure en quelque sorte tous les climats. A une hauteur de 3,600 toises, les sacs aériens et membraneux du condor qui se sont remplis dans les régions plus basses, doivent s'enfler d'une manière extraordinaire. Il y a soixante ans qu'Ulloa exprima son étonnement de ce que le vautour des Andes pouvait voler à une hauteur où la pression de l'air n'était que de 14 pouces. On croyait alors, d'après l'analogie des expériences faites avec la machine pneumatique, qu'aucun animal ne pouvait vivre dans un milieu si rare. J'ai vu, comme je l'ai dit, le baromètre descendre sur le Chimborazo à 13 pouces 11 lignes 2 dixièmes. Mon ami M. Gay-Lussac a respiré pendant un quart d'heure dans un air dont la pression n'était que de 0^{m},3288. A de si grandes

[1] *Tableaux de la nature,* traduit par Eyriès. — Paris, 1828, t. II.

hauteurs l'homme se trouve en général dans un état asthénique très-pénible. Au contraire chez le condor, l'acte de la respiration paraît se faire avec une égale aisance dans des milieux où la pression diffère de 12 à 28 pouces. De tous les êtres vivants, c'est sans doute celui qui peut à son gré s'éloigner le plus de la superficie de la terre. Je dis à son gré, parce que de petits insectes sont emportés encore plus haut par des courants ascendants. Probablement l'élévation que le condor atteint est plus considérable que celle que nous avons trouvée par le calcul cité. Je me souviens que sur le Cotopaxi, dans la plaine de Suniguaicu, couverte de pierres ponces et élevée de 2,263 toises au-dessus du niveau de la mer, j'ai aperçu ce volatile à une hauteur telle, qu'il ne paraissait que comme un point noir. Quel est le plus petit angle sous lequel on distingue des objets éclairés faiblement ? L'affaiblissement des rayons de la lumière, par leur passage à travers les couches de l'air, a une grande influence sur le minimum de cet angle. La transparence de l'air des montagnes est si considérable sous l'équateur, que dans la province de Quito, comme je l'ai montré ailleurs, le poncho ou manteau blanc d'une personne à cheval se distingue à l'œil nu à une distance horizontale de 14,022 toises, et par conséquent sous un angle de 13 secondes. (P. 78.)

Les révolutions à la suite desquelles les colonies espagnoles de l'Amérique secouèrent le joug de la métropole, eurent pour conséquence de faire traverser par des troupes de plusieurs milliers d'hommes certains passages des Andes que fréquentent seulement, en temps ordinaire, de rares voyageurs. Le séjour dans l'air dilaté apporta certainement à ces petites armées un surcroit de souffrances; mais les historiens paraissent s'en être assez peu préoccupés, frappés qu'ils sont surtout de la légitime influence du froid, du manque de vivres, des fatigues excessives.

Ainsi, au commencement de 1817, le général Saint-Martin, à la tête de 3000 indépendants, envahit le Chili par le difficile passage qui mène de Mendoza à Santa-Rosa, et dont le point culminant dépasse 4300^{m}.

L'expédition, dit M. Gustave Hubbard[1], présentait des difficultés tellement graves, que les troupes de Santiago et le gouverneur du Chili se refusaient à croire à une tentative aussi hasardeuse. . . . .

Un grand nombre d'hommes périrent de froid dans cette atmosphère raréfiée et glaciale qu'il fallut traverser.... L'armée en partant de Mendoza comptait 9,281 mulets ; elle n'en avait plus que 4,300 de l'autre côté des Andes, et sur 1,600 chevaux il n'en survivait que 500. (T. I, p. 346.)

L'armée que Bolivar conduisit en juin 1819 contre Morillo, du Venezuela à la Nouvelle-Grenade, à travers les Andes de Colombie, rencontra les mêmes difficultés. Les Anglais, qui fournissaient

[1] *Histoire contemporaine de l'Espagne.* — 2 vol. — Paris, 1869.

une notable partie de son corps expéditionnaire, périrent en grand nombre. Le célèbre historien Gervinus dit à ce propos[1] :

La route est infailliblement marquée par les ossements des nombreuses victimes qui meurent toujours pendant ces passages.... En effet, ceux qui, vaincus par la fatigue et par le froid, s'abandonnent à la somnolence particulière dont le voyageur devient dans les altitudes la proie facile, tombent dans un engourdissement qui leur enlève les forces (*emparamados* de *paramos*, nom sous lequel on désigne les plus hauts plateaux) et qui les conduit sans espoir de salut à la mort (p. 88).

Le haut et le bas Pérou virent également de semblables expéditions. En 1821, le vice-roi espagnol La Serna, forcé d'abandonner Lima, fit retraite à travers la Cordillère, et s'établit dans la haute vallée de Jauja. Ses troupes en descendirent souvent pour attaquer les indépendants, jusqu'à ce que Bolivar entreprît contre eux la campagne qui se termina par la bataille d'Ayacucho (1824), et qui tout entière se livra à plus de 3000^{m} d'altitude. C'est encore à une hauteur plus grande, par 4500^{m}, que le général Santa-Cruz battit en 1822 les Espagnols sur les flancs du Pichincha.

L'écrivain espagnol Torrente[2], dans son histoire de la révolution américaine, attribue justement à l'altitude une part considérable dans les souffrances des armées pendant ces marches à grande hauteur :

Lorsqu'on traverse la cordillère des Andes du Pérou, on a l'habitude de sonffrir de deux maux : le spasme et le mal de mer. Ce dernier mal est le plus commun, surtout pour ceux qui viennent des terrains bas et chauds de la côte. La subtilité de l'air dans cette atmosphère comprime la respiration et la rend trés-laborieuse, redouble les palpitations, accélère la circulation, fait qu'on souffre d'intenses douleurs de tête, que les vaisseaux se gonflent vite et que quelques malheureux périssent en jetant le sang par la bouche, les yeux et les narines. C'est une véritable suffocation, qui atteint aussi les animaux pour peu qu'on veuille accroître leurs charges ou précipiter leur marche. Les pertes de la petite armée du vice-roi la Serna furent plus grandes pendant la retraite de Lima à Jauja, parce qu'une grande partie de ses soldats était encore en état de convalescence.

L'auteur ajoute, en reproduisant les croyances populaires :

Il semble que les filons des métaux précieux et d'antimoine qui courent à travers le territoire du Pérou sont la cause de cette combinaison atmosphérique si contraire à la santé. Ce qui tendrait à le prouver, c'est le fait que les effets en sont bien moins sensibles sur des points d'une plus grande élévation, tels que certaines parties de la cordillère du Chili, la Sierra de Pichincha, et d'autres montagnes du Quito.

[1] Gervinus, *Histoire du dix-neuvième siècle*, traduction Minssen, t. VII. — Paris, 1865.
[2] *Historia della Revolucion hispano-americana*. — Madrid, 1830.

Ce mal de mer est connu dans le pays sous le nom de *Soroche*, et on l'éprouve même dans certains villages bas, situés sur des terrains métallifères. (T. III, p. 164 et 169, note.)

Nous avons vu Saint-Martin traversant la Cordillère de Mendoza à Santiago, et exécutant ainsi une expédition que Manuel de Almagro[1] considère « comme bien autrement difficile et digne d'admiration que celle de Bonaparte au grand Saint-Bernard, qui a été beaucoup exagérée » (p. 34). Cette route est, comme nous l'avons dit, celle que suivent habituellement les voyageurs qui veulent traverser l'Amérique. Deux passages se présentent, l'un par le Cumbre (3920^{m}), l'autre par le Portillo (4360^{m}). Le premier est le plus fréquenté. La plupart des récits font mention des accidents de la décompression; mais, par ce chemin, ils sont ordinairement assez médiocres.

Cependant Samuel Haigh[2], qui, pendant l'hiver austral de 1818, se hazarda de Mendoza à Santiago dans les passes du Cumbre, les ressentit à un degré assez notable. Une tempête de neige qui l'assaillit le força à se réfugier avec ses compagnons sur une colline où la « casucha » de las Vacas leur offrait un abri :

En grimpant la colline sur laquelle elle est construite, dit-il, je fus frappé pour la première fois, de la *puna* ou *soroche*. C'est une maladie particulière, je crois, aux hautes montagnes ; elle résulte de l'extrême raréfaction de l'air qui devient ainsi difficile à respirer. Je fus obligé de me coucher trois fois à terre avant d'arriver au sommet de la colline, et je ressentis une brièveté de la respiration avec douleur et oppression de poitrine et sensation de nausée. La *puna* frappe quelques individus avec un tel degré, que le sang sort de leur bouche et de leurs narines. Cependant, il faut le dire, nos souffrances commencèrent pour tout de bon. (P. 104.)

Mais tous ne sont pas également affectés, surtout lorsque, comme il arrive d'ordinaire dans la bonne saison, le voyage s'effectue à dos de mulet. C'est ce qu'explique très-bien Miers[3], qui fit la traversée en mai 1819 :

Ceux qui voudront entreprendre ce voyage seront effrayés des récits des difficultés qu'ils auront à souffrir de la *puna*, nom donné à la sensation de respiration courte et difficile, qui nous atteint souvent en montant dans l'air raréfié. C'est l'appréhension et le sujet des conversations de tous ceux qui ont traversé la Cordillère, qui vous disent qu'ils n'ont échappé à ces effets si effrayants qu'en mangeant beaucoup d'oignons, qu'en ne goûtant pas de liqueurs alcooliques, excepté

[1] *Corta descricion de los viages hechos en America por la Comision cientifica mandada por el Gobierno Español, durante los anos* 1862, 1866. — Madrid, 1866.
[2] *Sketches of Buenos-Ayres, Chile, and Peru.* — London, 1831.
[3] *Travels in Chile and la Plata.* — 2 vol. — London, 1826.

le vin, qui est considéré comme l'antidote de la *puna*. Ces précautions, cependant, ne sont pas nécessaires, car bien peu de personnes qui font l'ascension à dos de cheval ressentent ce malaise, excepté celles dont les poumons sont malades ; mais beaucoup de ceux qui ont monté le Cumbre à pied, en se surmenant pour diriger les mules, l'ont éprouvée. Je doute qu'on puisse souffrir beaucoup de la *puna*, sans se livrer à un exercice épuisant. J'ai deux fois monté à pied et descendu le Cumbre, sans en être affecté. De même ni ma femme, ni mon enfant, âgé de six mois, avec le thermomètre à 35° F., la baromètre à 19 p. 1/8, n'ont ressenti la moindre difficulté à respirer, bien que nous devions penser que sur un enfant de cet âge, aux poumons si délicats, on devrait observer d'abord les modifications de la respiration, quand même elles seraient seulement dues à un air trop raréfié. (T. I, p. 321.)

Le récit de l'écossais Caldcleugh[1] est particulièrement intéressant, parce que ce voyageur traversa deux fois les Andes, en sens inverse. La première fois, le 17 mars 1820, par un très-mauvais temps, une tempête de neige, il passa par le Portillo et le Piuquenes, en allant de Mendoza à San-José. Il ne parle d'aucun trouble (t. I, p. 285-323).

Mais le 2 juin de l'année suivante, allant de la Punta de San-Luis à Cordova (République argentine), il traversa par une hauteur bien moindre, la sierra de Cordova. Il fit halte dans une casucha à 3200^{m} et y passa la nuit. Le lendemain, ascension du col :

La neige était fortement gelée... Deux des péons souffrirent beaucoup d'une maladie nommée *puna*, qui les attaqua peu après notre départ de la Casucha. Elle me parut consister en des soulèvements du diaphragme, accompagnés d'un grand épuisement et perte des esprits. Ceux qu'elle frappe se couchent, se laissent aller, et souvent meurent avant d'atteindre la descente. De grandes quantités d'ail et d'oignon sont considérées comme spécifiques contre cet état. Mais le plus sûr traitement est d'emmener aussi rapidement que possible les malades dans un lieu moins élevé. On a généralement remarqué que ceux des péons qui sont vieux et d'habitudes vicieuses souffrent plus de la *puna* que les autres, et cette observation s'appliquait parfaitement aux deux que j'ai dû renvoyer. L'un de ceux-ci était extrêmement malade, et l'autre sous la garde duquel il s'en alla était légèrement affecté. A cette heure je ne sais pas s'il put traverser la vallée.

Peu après ils atteignirent le sommet, à 3840^{m}. Il ne se plaint de rien, personnellement.

Schmidtmeyer[2], dans le récit de sa traversée des Cordillères, de l'est à l'ouest, par le volcan de Cumbre, ne parle d'aucun trouble physiologique. Mais à la fin du livre, il comble cette lacune :

J'aurais dû parler plus tôt de cette lassitude avec difficulté de respirer qu'on éprouve en traversant la chaîne ; j'en ai souvent entendu parler au Chili. Mais

[1] *Travels in south America, during the years* 1819-20-21. — 2 vol. — London, 1825.
[2] *Travels into Chile over the Andes, in the years* 1820 *and* 1821. — London, 1824.

nous sommes restés sur le dos de nos mules jusqu'au sommet de la passe, où nous arrivâmes ainsi sans le moindre effort. Un des nôtres, cependant, en souffrit considérablement, mais je ne sais si c'est au degré le plus élevé. D'une manière générale, sur les points élevés des Andes, on éprouve une grande peine à se mettre en mouvement ; c'est le contraire de ce qui arrive sur d'autres montagnes. (P. 349.)

Proctor[1] (1824), Head[2] (1825), qui suivirent la même route, dans le même sens, ne disent absolument rien de la *puna*. Lister Maw[3] qui en novembre 1827 partit de Truxillo (Pérou), pour gagner le bassin de l'Amazone, ne parle pas non plus de l'influence de la pression, sinon à Contumasa (2190^m), où il dit poétiquement :

La rareté de l'atmosphère tendait grandement à élever nos esprits.

Mais le lieutenant Brand[4] est plus explicite ; il mentionne de ces troubles, tente même de les expliquer, mais sans les avoir éprouvés lui-même, et cependant il fit son premier voyage, de Mendoza à Santiago, par le Cumbre, en plein hiver austral (22 août 1827). Il eut à souffrir des froids terribles, allant jusqu'à 15° au-dessous de zéro.

Le 22 août, il fit l'ascension du Cumbre ; le thermomètre était à 34° F :

Comme j'avais entendu souvent parler de la *puna*, ou difficulté de respirer, par des voyageurs qui s'en plaignaient beaucoup, j'y fis particulièrement attention ; je ne puis dire que j'aie senti plus d'inconvénients que cela ne me fût arrivé en faisant un tel travail, aussi continu, alors même que je n'eusse pas été à cette élévation. Je ne souffrais que d'une soif très-vive, que la neige excitait, au lieu de la calmer..... Mais je n'ai pas l'intention de critiquer ce qui a été dit de la *puna*, qui a été éprouvée sérieusement par beaucoup de voyageurs. (P. 147.)

. . . .

Dans mon retour à travers les Andes, en décembre 1827, je vis que les mules s'arrêtaient fréquemment pour respirer, spécialement en montant le Cumbre, où elles s'arrêtaient à chaque zig-zag, comme si elles souffraient des poumons, et je trouvai, comme Acosta, que ni les cris ni les coups ne pouvaient les faire avancer jusqu'à ce que cela leur plaise. Mais il n'y a rien là de particulier au Cumbre ni aux autres élévations de la Cordillère, car souvent les mules s'arrêtent ainsi, comme si elles souffraient des poumons.

Il en advenait de même aux péons qui tout-à-coup, en marchant, s'arrêtaient, criaient « *puna, puna* » et continuaient ensuite à monter. Il semblait qu'ils con-

[1] *Narrative of a journey across the Cordillera of the Andes, in the years*, 1823 *a.* 1824. — London, 1824.

[2] *Rough notes taken during some rapid journeys across the Pampas and among the Andes.* — London, 1828.

[3] *Journal of a passage from the Pacific to the Atlantic.* — London, 1829.

[4] *Journal of a voyage to Peru.* — London, 1828.

nussent les points où cela devait leur arriver, étant à pied, car ils remarquaient fréquemment : « Aqui esta mucha puna ». Je ne puis attribuer cela qu'à la présence dans ces endroits de minerais qui altèrent plus ou moins l'air, d'où leur influence sur les poumons. (P. 149.)

L'officier français de la Touanne[1] qui fit partie de l'expédition de Bougainville, et qui suivit le même chemin que Brand, fut assez vivement frappé pour tomber à terre; il exécuta sa traversée le 29 janvier 1826.

Je suppose que le point où nous nous trouvions est élevé de 2,000 toises au moins.... L'air est très-raréfié à cette élévation ; j'avais quitté ma mule, lui laissant prendre le devant avec la caravane, et je m'occupais à examiner quelques pierres à droite et à gauche du sentier. Lorsque je voulus ensuite doubler le pas pour rejoindre mes compagnons de voyage, la respiration me manqua tout-à-coup ; je tombai, la poitrine oppressée et respirant avec difficulté. Il fallut qu'un péon me ramenât ma monture ; et par ce léger accident, je pus juger de ce que doivent avoir à souffrir, sous ce rapport, les *arrieros* et les voyageurs qui ont à fréquenter ce passage dans un temps difficile. (P. 50.)

Après ces témoignages venant de voyageurs qui n'ont fait que traverser la montagne, voici ce que dit un ingénieur anglais, Ed. Temple[2], qui a séjourné pendant un an, 1826-1827, à Potosi (4165^{m}), employé à l'exploitation des riches mines de cette contrée,

En marchant j'ai souvent éprouvé cette difficulté de respirer qui est occasionnée par l'extrême rareté de l'air, et à laquelle même les natifs et les animaux sont sujets. Le sport royal des courses de chevaux ne pourrait avoir lieu ici, car les chevaux paraissent plus souffrir du *zorochi* que les hommes ; j'ai souvent entendu dire qu'ils tombent et meurent, si l'on veut les presser quand ils montent une colline. (T. I, p. 296.)

Je citerai encore les passages dans lequel le voyageur anglais Bollaert[3] qui fit au mois de juin 1827 l'ascension de la montagne de Tata Jachura (5180^{m}), décrit les souffrances qu'il éprouva pendant l'ascension.

Nous saignâmes un peu du nez, nous éprouvâmes des bourdonnements d'oreilles, du mal de tête, affaiblissement des yeux, et le corps engourdi par le froid, le tout causé par la *puna* ou *soroche*, c'est-à-dire par la dilatation et le froid de l'atmosphère. (P. 121.)

[1] *Itinéraire de Valparaiso à Buenos-Ayres*, publié dans le 2e volume du *Journal de la navigation autour du globe*, de Bougainville. — Paris, 1837.

[2] *Travels in various parts of Peru including a year's residence in Potosi*. — 2 vol. — London, 1830.

[3] *Observations on the geography of southern Peru, including survey of the Province of Tarapaca, and route of Chili by the coast of the Desert of Atacama. Journal of the R. Geogr. soc.* — London, t. XXI, p. 99-130; 1851.

J'arrive à l'important voyage de d'Orbigny[1] et à la description si intéressante qu'il donne des malaises de la montagne.

Dans son premier voyage, il va d'Arica à la Paz :

Le 21 mai 1830, j'arrivai au point de jonction du ravin de Palca avec un autre ravin sans eau.... Là, j'abandonnai la végétation avec l'humidité....

Bientôt je commençai à monter la côte de Cachun, et j'éprouvai à son sommet, en même temps que les premières atteintes de la raréfaction de l'air, un froid très-piquant, dû à l'élévation. (T. II, p. 377.) . . . .

La pente devint encore plus rapide.... Je sentais de plus en plus les vives atteintes de la raréfaction de l'air, un très-violent mal de tête, un grand embarras dans la respiration; mes arrieros, leurs bêtes, et jusqu'à mon chien, mon fidèle Cachirulo, étaient obligés de s'arrêter tous les vingt ou trente mètres, tourmentés qu'ils étaient comme moi du *soroche*. . . . .

Chaque fois qu'on éprouve le malaise dû à la raréfaction de l'air, les habitants disent qu'on a le *soroche*. Ils en méconnaissent la véritable cause, la grande élévation au-dessus du niveau de la mer, pour l'attribuer à des émanations minérales d'antimoine, appelées en espagnol *soroche*. C'est même cette souffrance, cette difficulté de respirer dans les parties très-élevées des Cordillères, qui leur a fait donner le nom de *puna brava*. Quelques voyageurs emploient pour les Cordillères péruviennes le mot *Paramo*, inusité dans le pays, et qui ne remplace nullement le mot *Puna*, désignant un *plateau élevé*, sec et dépourvu d'arbres.

Après bien des fatigues nous atteignîmes le sommet de la dernière côte ; je me trouvai enfin sur la crête de la Cordillère. (P. 378.). . . . .

Depuis mon arrivée au sommet de la Cordillère, je souffrais au dernier point de la raréfaction de l'air. Je sentais des douleurs atroces aux tempes ; j'avais des maux de cœur analogues à ceux que produit le mal de mer, je respirais avec peine. Au moindre mouvement, j'éprouvais des palpitations des plus fortes et un malaise général, joint à un découragement que tous mes efforts ne pouvaient me faire surmonter. J'eus une preuve bien marquée de ce que produit l'habitude. Tandis que je souffrais ainsi, je voyais deux indigénes, envoyés en courriers, gravir agilement à pied avec facilité, pour abréger leur route, des points incomparablement plus élevés que ceux où je me trouvais. . . . .

Ils étaient pourtant à une élévation égale à celle du mont Blanc. Le soir j'éprouvai une forte hémorrhagie nasale qui me soulagea un peu ; néanmoins je passai une nuit d'autant plus affreuse, que j'étais sans abri, exposé à un froid vif et piquant qui convertissait en glace toutes les eaux des environs. (P. 380.)

. . . .

23 *mai*. J'éprouvais toujours les atteintes de la raréfaction de l'air ; les maux de tête et les palpitations de cœur ne me laissaient pas un moment de repos. . . . .

Mes muletiers me dirent que, quelques mois avant, un Espagnol faisant la même route avec eux, s'était vu si fort affecté par la raréfaction de l'air, qu'il éprouva, dès le premier jour, des symptômes très-alarmants, et qu'incapable de poursuivre, il mourut la nuit suivante, sans qu'on pût lui procurer le moindre soulagement. Ils me citèrent encore beaucoup de circonstances où les voyageurs

[1] D'Orbigny, *Voyage dans l'Amérique méridionale*, exécuté pendant les années 1826-1833, 7 vol. Paris, 1835-1847.

qu'ils accompagnaient avaient souffert on ne peut plus de ce qu'ils appellent le *soroche*. (P. 387.). . . . . , ...

24 *mai*. A mesure que je descendais, je respirais plus facilement, et j'espérais voir cesser, avant la fin du jour, une partie du malaise que me causait la raréfaction de l'air. (P. 390.)

Le 29 mai, d'Orbigny arrive à la Paz (3720^{m}) :

Comme je m'étais trouvé beaucoup mieux en descendant du plateau occidental sur le plateau bolivien, je croyais ne plus souffrir de la raréfaction de l'air ; mais il en fut tout autrement dans la ville de la Paz. La nuit je suffoquais dans ma chambre. Dans les rues, en pente très-roide, je ne pouvais monter sans être arrêté de 10 pas en 10 pas par des palpitations et par le manque de respiration. Si je causais avec chaleur, la parole me manquait tout-à-coup ; enfin, invité dans quelques maisons à prendre part à l'amusement général, il m'était impossible de valser deux tours de suite sans suspendre cet exercice, suffoqué que j'étais par les mêmes accidents ; et je faillis un jour succomber, pour avoir voulu me rendre à pied à los Obragos, village distant d'une lieue, que j'avais dû faire en gravissant une pente très-rapide,

Ce malaise dura tout le temps de mon premier séjour à la Paz. Les personnes nées dans le pays ne s'en ressentent aucunement. Toutes m'assurèrent qu'on finit par s'y habituer, et j'en acquis personnellement la preuve à mon retour, trois ans plus tard. Pourtant je conseillerais peu aux personnes faibles de poitrine de se soumettre à cette épreuve, celle qui, dans mes voyages, m'a fait le plus souffrir. (P. 404.)

Cependant l'accoutumance dont se vante d'Orbigny ne fut pas aussi considérable qu'on pourrait le croire. Il est vrai que, dans le récit de son second séjour en 1832 à Potosi, Oruro et la Paz, il ne parle plus de souffrances (t. III, p. 283 et suivantes); mais il y revient en racontant certaines ascensions :

Je dus m'arrêter (5 juillet 1832), en allant de Cochabamba au pays des Moxos, près d'un lac glacé à près de 5000^{m} au-dessus du niveau de la mer. L'excès du froid s'y faisait d'autant plus sentir que nous n'avions aucun abri, et la raréfaction de l'air y était telle, qu'à peine pouvais-je respirer, (t. III, p. 176)..... Le lendemain, en descendant,..... avec la région des nuages commença la végétation ; j'avais jusqu'alors senti ma poitrine oppressée, aussi ne saurais-je exprimer avec quel plaisir je commençai à respirer plus librement un air moins raréfié (p. 177).

Un voyageur allemand, Ed. Pœppig[1], s'étend plus longuement encore sur ce sujet; il séjournait à Cerro de Pasco (4350^{m}) :

Le nouveau venu à Cerro de Pasco est sujet à de sérieux inconvénients ; la marche, même sur un terrain plat, le fatigue extraordinairement ; dans les rues qui montent la respiration devient courte et pénible, il est pris de maux de

[1] *Reise in Chile, Peru, und auf dem Amazonenstrome, vährend der Jahre* 1827-1832. — 2 vol. — Leipzig, 1836.

tête, d'afflux de sang aux poumons, signes certains qu'il ne pourra pas plus que les autres étrangers échapper aux attaques de la *puna*. En vain essaie-t-il de se raidir énergiquement contre le mal; celui-ci l'emporte et triomphe des plus fermes volontés. Comme pendant le violent mal de mer, l'esprit est abattu, les sens émoussés, le dégoût et un découragement hypochondriaque transforment d'une manière extraordinaire les plus robustes, les plus vivants, les plus courageux. Les souffrances corporelles, quand débutent les accès de cette maladie, sont plus pénibles et plus variées que dans les formes ordinaires du mal de mer. Quand la *puna* (nommée encore *Veta*, *Sorocho* ou *Mareo*) ne se fait sentir qu'à un degré médiocre, on se plaint d'une difficulté de respirer, qui force à s'arrêter au bout d'une dizaine de pas, et l'on s'efforce en vain, par des inspirations plus profondes, une extension plus grande de la poitrine, de remplir davantage ses poumons de l'élément vivifiant. Il semble qu'on soit enfermé dans une chambre sans air, et le sentiment d'angoisse s'augmente par l'échec de toutes les tentatives faites pour triompher de la perte des forces. Les pieds ont de la peine à supporter le corps, les genoux plient, et toutes les occasions de repos, si fréquentes qu'elles soient, même après quelques pas, sont les bienvenues. C'est un tourment de remonter les rues en pente, et quand on se hisse péniblement vers sa maison, c'est avec une vraie joie qu'on trouve une porte, un coin pour s'arrêter, pour s'appuyer, tout alourdi. L'angoisse ne diminue que pendant le repos absolu; mais la conviction de l'inévitable nécessité du mal, l'incapacité pour tout effort intellectuel, le sentiment de la perte d'un temps précieux, amènent la mauvaise humeur et l'abattement, si bien qu'un homme vigoureux se conduit comme un petit enfant.

Ceux que la maladie frappe au plus haut degré sont pris fréquemment de syncopes, symptômes d'un afflux de sang à la tête et aux poumons, avec un malaise indéfinissable; et, sans fièvre, même avec un sentiment de froid intérieur, les mains et les pieds morts, leur pouls bat de 108 à 120 fois par minute. La fatigue insurmontable, la tendance au sommeil sont bien loin d'amener un assoupissement réparateur, si bien qu'ils ne peuvent trouver le repos. Précisément la nuit amène les plus fortes suffocations, c'est un véritable martyre; incapable de supporter davantage la position couchée, le malheureux cherche un soulagement près du maigre feu qui brûle avec peine dans la cheminée, au risque de respirer un air chargé de vapeurs de charbon. Les yeux sont si sensibles qu'à peine peut-on lire; chez les uns surviennent en outre de légers maux de tête, tandis que chez d'autres dominent les malaises et les affections des organes digestifs qui rappellent le mal de mer, dont cependant se distingue bien la *puna* par son cours comme par ses causes.

Quant cet état de souffrances tire à sa fin, on voit apparaître souvent des phénomènes critiques très-pénibles. Après 6 à 7 jours, les malaises violents s'apaisent d'ordinaire chez ceux qui ont une poitrine saine et une forte constitution; autrement, il peut s'écouler des semaines avant que n'arrive une amélioration. Une éruption d'urticaire apparaît sur tout le corps, ou se limite aux lèvres, où elle occasionne des escharres, des saignements et des douleurs intolérables.... Chez les personnes à peau fine et à teint clair le sang peut sortir de la peau sans blessure, si bien que, pendant la durée de la *puna*, beaucoup n'osent pas se raser. Malgré la gravité des malaises, il n'y a guère d'exemple qu'ils aient occasionné la mort, et il n'y a de danger que pour les poitrines faibles et surtout pour les gens atteints de maladie de cœur. (T. II, p. 84.)

Pœppig continue en indiquant la manière dont se comportent les divers tempéraments, les diverses races, et en donnant des ren-

seignements thérapeutiques ; il admet un certain degré d'acclimatement pour les Européens.

Il expose ensuite que les habitants du pays, ceux mêmes qui y sont nés, ne sont pas absolument exempts de malaise, surtout quand les nuits sont froides. Les Indiens présentent une sorte d'immunité. Les bêtes de somme ont des accidents analogues à ceux des hommes ; les chiens n'éprouvent rien ; les chats sont rares à Cerro et dans les hauts lieux, et leurs petits s'élèvent difficilement ; les poules n'y pondent et n'y couvent que peu.

La narration[1] que fit M. Boussingault de l'ascension du Chimborazo, exécutée le 16 décembre 1831, contraste singulièrement avec ce que nous venons de rapporter. Nous avons vu d'Orbigny sérieusement atteint du mal des montagnes vers 3700^{m} ; Pœppig nous a décrit les souffrances des Européens arrivés à Cerro de Pasco (4350^{m}) ; or, M. Boussingault et le colonel Hall, son compagnon, montent à peu de distance du sommet du Chimborazo (à 6004^{m}), et ils n'accusent presque aucun malaise sérieux.

M. Boussingault partit de Rio-Bamba où il séjournait depuis quelque temps, le 14 décembre 1838. Il était accompagné du colonel Hall, avec qui il avait déjà fait les ascensions de l'Antisana et du Cotopaxi. Le 14, ils allèrent coucher à la métairie du Chimborazo (3800^{m}), d'où ils partirent le 15 à sept heures du matin, guidés par un Indien de la métairie. Arrivés à la hauteur du mont Blanc, la respiration des mulets était précipitée, haletante :

Il était midi. Nous marchions lentement, et, à mesure que nous nous engagions sur la neige, la difficulté de respirer en marchant se faisait de plus en plus sentir ; nous rétablissions aisément nos forces en nous arrêtant, sans toutefois nous asseoir, tous les huit ou dix pas. A hauteur égale, je crois avoir remarqué que l'on respire plus difficilement sur la neige que lorsque l'on se trouve sur un rocher ; je chercherai plus loin à en donner l'explication. (P. 155.)

Cette première tentative échoua : la neige devenue trop épaisse arrêta la marche des voyageurs, qui enfonçaient jusqu'à la ceinture ; ils redescendirent à la métairie.

Le lendemain, ils partirent à sept heures par une autre route, celle qu'avait suivie de Humboldt, et s'élevèrent à 4945 mètres à dos de mulet. Là, il fallut mettre pied à terre, les mulets ne pouvant plus porter leur fardeau : il était dix heures trois quarts. Les deux voyageurs continuent de monter à pied.

[1] *Ascension au Chimborazo*, exécutée le 16 décembre 1831. — *Ann. de chim.*, 2e série, t. LVIII, p. 150-180 ; 1835.

Nous reprenions haleine tous les six ou huit pas, mais sans nous asseoir.... Mais aussitôt que nous atteignions une surface neigeuse, la chaleur du soleil devenait suffocante, notre respiration pénible, et par conséquent nos repos plus fréquents, plus nécessaires.

. . . .

Nous gardions un silence absolu pendant la marche, l'expérience m'ayant enseigné que rien n'exténuait autant qu'une conversation soutenue à cette hauteur ; et pendant nos haltes, si nous échangions quelques paroles, c'était presque à voix basse. C'est en grande partie à cette précaution que j'attribue l'état de santé dont j'ai constamment joui pendant mes ascensions sur les volcans. Cette précaution salutaire, je l'imposais pour ainsi dire, d'une manière despotique, à ceux qui m'accompagnaient, et, sur l'Antisana, un Indien, pour l'avoir négligée en appelant de toute la force de ses poumons le colonel Hall qui s'était égaré pendant que nous traversions un nuage, fut atteint de vertige et eut un commencement d'hémorragie. (P. 159.)

Ils arrivent enfin au pied d'une cime de trachyte qui leur barre le passage ; il était midi trois quarts, la hauteur atteinte était 5680^{m}, le thermomètre marquait 4 degrés, et l'air était fortement chargé d'humidité, ce qui, selon M. Boussingault, est constant sur les glaciers des Andes. Enfin, après un assez long repos, ayant étudié avec soin le terrain, ils recommencent leur marche ascensionnelle :

Nous commencions déjà à ressentir plus que nous ne l'avions jamais éprouvé l'effet de la raréfaction de l'air ; nous étions forcés de nous arrêter tous les deux ou trois pas, et souvent même de nous coucher pendant quelques secondes. Une fois assis, nous nous remettions à l'instant même; notre souffrance n'avait lieu que pendant le mouvement (p. 250).

Enfin, ils arrivent à 6004^{m} de hauteur, élévation que personne n'avait encore atteinte; ce n'était cependant pas tout à fait le sommet du Chimborazo :

Après quelques instants de repos, nous nous trouvâmes entièrement remis de nos fatigues; aucun de nous n'éprouva les accidents qu'ont ressenti la plupart des personnes qui se sont élevées sur les hautes montagnes. Trois quarts d'heure après notre arrivée, mon pouls, comme celui du colonel Hall, battait 106 pulsations dans une minute ; nous avions soif, nous étions évidemment sous une légère influence fébrile, mais cet état n'était nullement pénible (p. 251). . . . .

. . . .

La raréfaction de l'air produit généralement chez les personnes qui gravissent les hautes montagnes des effets très-marqués..... Quant à nous, nous avions, il est vrai, éprouvé de la difficulté à respirer, une lassitude extrême pendant que nous marchions, mais les inconvénients cessèrent avec le mouvement; une fois en repos, nous croyions être dans un état normal. Peut-être faut-il attribuer le peu d'effet que produisait sur nous la raréfaction de l'air à notre séjour prolongé dans les villes élevées des Andes.

Quand on a vu le mouvement qui a lieu dans les villes comme Bogota, Micuipampa, Potosi et d'autres encore, qui atteignent 2600 et 4000 mètres de hauteur;

quand on a été témoin à Quito, dont le sol est élevé de 3000 mètres, de la force et de la prodigieuse activité des toreadors; quand on a vu des femmes jennes et délicates se livrer à la danse, pendant des nuits entières, dans des localités presque aussi hautes que le mont Blanc, où le célèbre de Saussure trouvait à peine assez de force pour consulter ses instruments, et où ses vigoureux montagnards tombaient en défaillance en creusant un trou dans la neige; quand on se rappelle enfin qu'un combat célèbre, celui de Pichincha, s'est donné à une hauteur peu différente de celle du mont Rose, il faut bien reconnaître que l'homme peut s'accoutumer à respirer l'air raréfié des plus hautes montagnes (p. 245).

Mais un voyageur allemand, le docteur Meyen[1], qui, dans son voyage autour du monde, de 1830 à 1832, séjourna quelque temps au Pérou et fit, en avril 1831, l'ascension du volcan d'Arequipa (5640^{m}) parle du mal des montagnes dans des termes qui rappellent la description de Pœppig :

A deux heures après midi, nous arrivâmes au sommet de la montagne; mes forces étaient épuisées, et nous souffrions de la pénible affection nommée *sorocho*. Peu à peu avaient augmenté les symptômes d'un état nerveux ou fiévreux auquel nous avions été en proie tout le temps de l'ascension. La respiration se faisait avec une difficulté croissante, et graduellement étaient survenus les vertiges, les nausées, les vomissements, puis les saignements de nez et les défaillances; dans cet état nous étions obligés de nous coucher à terre, mais le repos nous rendait nos forces et nous permettait de marcher de nouveau en avant.

La maladie dont nous souffrions mérite d'être étudiée ici ; tous les voyageurs en ont entendu parler, aussitôt qu'ils ont mis le pied sur les côtes de ce pays en indiquant l'intention de voyager dans la montagne. Au Pérou, on l'appelle *sorocho*, et à Quito *mareo de Puna* ou encore *Puna*. Elle se manifeste sous diverses formes. L'un de ses symptômes, qu'on rencontre à la fois dans les régions inférieures et sur le sommet des Cordillères, est une sensation de difficulté à respirer, pour le moindre effort. Si l'on est à cheval, on n'éprouve rien ; mais il survient, à des degrés d'intensité divers, une sorte d'état demi-fiévreux, qui se manifeste par une chaleur brûlante dans tout le corps, des maux de tête, la sécheresse de la langue, une soif ardente, la perte de l'appétit. Les battements du pouls montent à 100 et 110, au plus petit mouvement. Le visage rougit, la peau se fend sur différents points, de telle sorte que le sang sort ; en même temps survient une fatigue générale. C'est là l'état habituel, la première épreuve de ceux qui font des ascensions, qu'il s'agisse de Quito, du Pérou, du Chili, des montagnes d'Asie ou même des plus élevées parmi celles de notre Europe. . . . .

Cet état fébrile augmente par les efforts, et aussi sous l'influence des vents violents, secs et froids, qui sont si communs dans la Cordillère; c'est à eux que les habitants éclairés de ce pays attribuent cette maladie. . . . .

. . . .

Il faut encore ajouter, pour augmenter les malaises, l'action torride du soleil, sur les hauts lieux..... ; elle entre pour quelque chose dans les maux de tête et l'état demi-fiévreux. Il ne manque pas de personnes qui attribuent la maladie aux exhalaisons des veines métalliques et des dépôts de soufre si communs sur le sommet des Cordillères.

[1] *Reise um die Erde, in den Jahren* 1830-31-32 — Berlin, 1835, t. II.

On a comparé le *sorocho* au mal de mer, et l'on a été jusqu'à dire que ceux qui ne souffrent pas de celui-ci sont épargnés par celui-là. Cela nous paraît erroné. L'état à demi fiévreux que nous avons décrit précédemment est la base de cette maladie, et, quand il augmente, il amène les symptômes caractéristiques des affections du cerveau, des organes respiratoires, des organes digestifs. Un de ces trois organes est toujours atteint d'une manière prédominante, d'où résultent les diverses formes de la maladie. Quand la poitrine est surtout affectée, on voit les difficultés de respirer s'ajouter à la fièvre générale; il survient une sensation de pesanteur dans la poitrine, et la respiration comme les battements du cœur deviennent plus rapides; arrivent ensuite des déchirements dans les poumons, des accidents d'étouffement, et même des hémorrhagies, phénomène très-rare. . . . . .

La mort qu'on a observée chez des animaux chargés arrivait selon nous par étouffement; nous avions éprouvé, en montant au volcan d'Aréquipa, de telles difficultés respiratoires, qu'il fallait tous les dix pas nous arrêter complétement. Les animaux chargés, à qui on ne permet pas de le faire, vont jusqu'à ce qu'ils tombent. Dans d'autres cas, l'affection se porte surtout sur les organes digestifs, et alors arrivent les nausées, les maux de cœur, un affaissement extrême, et enfin des vomissements, qui soulagent un peu. Bien plus dangereuses sont les affections du cerveau; elles se traduisent encore par les nausées, les syncopes, par un état particulier ressemblant à l'ivresse, et même par de la fureur....

En général on admet que les battements du cœur à de grandes hauteurs sont plus rapides; cela s'explique parce que la respiration est devenue elle-même beaucoup plus rapide dans un air plus léger. Mais la respiration ni la circulation ne sont pas accélérées si l'on se tient parfaitement tranquille; plusieurs fois, sur le plateau de Tacora, après avoir dormi, nous n'avons pas trouvé plus de 70 ou 72 pulsations à la minute, tandis que, quelques heures plus tard, le simple acte d'aller à cheval les faisait monter à 100 et 110. (P. 34 et suiv.).

Ils arrivèrent absolument épuisés au sommet de la montagne, et redescendirent en proie à un état fébrile qui n'avait pas encore complétement disparu le lendemain. (P. 38).

Le récit de l'illustre naturaliste Charles Darwin[1] concorde tout à fait avec ce que nous avons rapporté plus haut à propos de la Cordillère chilienne. Il fit, le 20 mai 1835, la traversée des Andes en allant de Santiago à Mendoza à travers le passage du Portillo (4360^{m}) :

Vers midi nous commençâmes l'ennuyeuse ascension du Peuquenes, et alors pour la première fois nous éprouvâmes quelque petite difficulté dans notre respiration. Les mules s'arrêtaient chaque cinquante pas, et les pauvres courageux animaux, après peu de secondes, se remettaient en marche d'un commun accord. La brièveté de la respiration dans l'air raréfié est nommée par les Chiliens *puna*; et ils ont des idées fort ridicules sur son origine. Les uns disent : toutes les eaux ici ont la puna, d'autres : où est la neige est la puna, ce qui sans doute est vrai. Elle est considérée comme une sorte de maladie, et l'on m'a montré des croix sur les tombeaux de gens qui étaient morts « punado ». Excepté s'il s'agit de personnes malades des

[1] *Narrative of the voyages of Adventure and Beagle*; 1826-1836, 5e vol.; *Journal and remarks*. — London, 1832-1836.

poumons ou du cœur, je pense que ces idées sont erronées. Un homme fort malade éprouvera sans doute à ces hauteurs une difficulté plus grande à respirer que les autres, et s'il meurt, ceci peut en avoir été cause.

La seule sensation que je ressentis fut un léger resserrement de la tête et de la poitrine; cette sensation a du rapport avec ce qu'on éprouve quand on quitte une chambre chaude pour s'exposer à l'air glacial. Il y avait beaucoup d'imagination dans ceci; car, ayant trouvé des coquilles fossiles sur le sommet le plus élevé, j'oubliai entièrement la puna dans ma joie. Mais certainement l'épuisement par la marche est extrême, et la respiration devient profonde et laborieuse. Il est incompréhensible pour moi, comment de Humboldt et d'autres ont pu monter jusqu'à 19,000 pieds; sans aucun doute, une résidence de quelques mois dans la haute région de Quito avait prémuni leur constitution contre un tel épuisement. Cependant on m'a dit qu'à Potosi (environ 13,000 pieds), les étrangers ne sont pas accoutumés à l'atmosphère avant un séjour d'une année entière. Les habitants recommandent tous l'oignon contre la puna..... pour ma part, je n'ai rien trouvé qui vaille les coquilles fossiles! (T. III, p. 393.)

Les officiers anglais Smyth et Lowe[1] qui entreprirent en 1834 un voyage afin de trouver un passage navigable vers l'Atlantique par le Pachitea, l'Ucayali et l'Amazone, traversèrent la Cordillère beaucoup plus près de l'équateur. En effet, ils partirent de Lima, le 20 septembre 1834. Le 25 septembre, un peu au delà de Pucachaca, le malaise les atteignit :

L'air devint très-froid..... nous commençâmes à éprouver ce qu'on appelle vulgairement le *veta* ou *marea* (mal de mer), qui consiste en une douleur aiguë à travers les tempes, à la partie inférieure et postérieure de la tête, et qui abat complétement ceux qui en sont frappés.... (P. 25).

Ils arrivèrent le 28 à Cerro de Pasco :

Nous avons éprouvé à raison de l'élévation du sol, et surtout en montant, une difficulté à respirer qui serre péniblement la poitrine, surtout chez les nouveaux venus; mais, au bout de quelque temps, les poumons s'habituent à l'état de l'atmosphère, et cette affection disparaît (P. 42).

Du reste, ces faits étaient si connus dans les régions montagneuses de l'Amérique du Sud, qu'en 1842, un médecin écossais, Archibald Smith[2], résumait dans les termes suivants les notions qu'il avait recueillies pendant un voyage au Pérou :

Veta, Soroche, la Puna, Mareo de la Cordillère. — Un mal de tête avec battements et forte sensation de plénitude aux tempes, joint à une grande oppression et tension de la poitrine, et fréquemment à des maux d'estomac, sont les symptô-

[1] *Narrative of a journey from Lima to Para.* — London, 1836.

[2] *Practical observation on the diseases of Peru, described as they occur in the Coast and in the Sierra. — Edimb. med. and surg. journal,* t. LIV, LVI, LVII, LVIII, 1839, 1841, 1842, 1843.

mes qu'on éprouve d'ordinaire dans les premiers jours en traversant les Cordillères ou en séjournant à Cerro de Pasco. Si l'on marche vite, si surtout l'on grimpe une colline, on ressent une plénitude extrême de la poitrine, les artères temporales battent violemment, et les maux de tête surviennent. Si l'on essaye de courir, ces symptômes se manifestent aussitôt, et l'on est heureux de s'arrêter pour reprendre haleine. La respiration d'un air glacial, le 3 juillet à minuit, dans une misérable hutte au passage de Tucto (4855^{m}), m'amena une sensation déchirante, le long de la trachée artère ; jusqu'à la descente, j'éprouvai sans cesse l'appréhension que quelque vaisseau sanguin se soit ouvert dans mes poumons..... Dans une autre occasion, par une autre route.... ma respiration était haletante et laborieuse.

Beaucoup de personnes jeunes s'accoutument aux effets de l'air raréfié, si bien qu'elles n'ont de maux de tête et de dyspnée que pendant un exercice exagéré. Quelques individus, au contraire, et surtout les pléthoriques, ne peuvent passer la Cordillère où résider à Cerro de Pasco, sans maux de tête et difficultés respiratoires ; quand ils traversent la Cordillère en voyageant dans ces plaines élevées et glacées que les natifs nomment Puna, ils sont très-sujets à éprouver des épistaxis. (T. LVII, p. 356 ; 1842).

Le témoignage du botaniste français Claude Gay[1] n'est pas moins concluant. Or, l'autorité de ce savant est grande, puisque pendant près de quinze ans, de 1828 à 1842, il explora la Cordillère des Andes. Il s'exprime ainsi :

Je sortis de Lima (1841)..... Après quatre jours de marche, nous franchîmes la première Cordillère par le col de Tingo, élevée de 4815^{m} au-dessus du niveau de la mer. Nous y éprouvâmes ce singulier malaise, effet de la grande raréfaction de l'air, et connu en Amérique sous le nom de *soroche*, de *pouno*, etc. On ne peut mieux le comparer qu'à un véritable mal de mer ; ce sont les mêmes symptômes, les mêmes souffrances, douleurs de tête, vomissements, et un abattement tel, qu'il rend la vie presque à charge, et m'empêchait d'aller consulter mes baromètres et thermomètres qui n'étaient qu'à deux pas de moi. . . . .

Ce malaise me dura quelque temps ; mais, dans la suite, je finis par m'habituer à cette rareté de l'air, et je pus faire osciller mes aiguilles d'intensité à une hauteur de 4685^{m}. et exécuter plusieurs autres travaux de physique terrestre sans en être sensiblement incommodé. (P. 28). . . . .

Les Indiens du Cusco..., quoique constamment à une hauteur de 10 à 14,000 pieds, ne sont nullement incommodés de la grande rareté de l'air ; ils marchent et causent avec autant de facilité que nous dans les plaines basses : aussi trouve-t-on dans ces régions les villes et les villages les plus élevés de notre globe : Ocoruco à 4232^{m}, Condoroma à 4343. On voit quelques maisons de poste, celle par exemple de Rumihuani, qui s'élèvent jusqu'à 4685^{m}, et des maisons de bergers jusqu'à 4778^{m}, c'est-à-dire presque à la hauteur du Mont-Blanc. (P. 33).

Le célèbre voyageur allemand J. J. von Tschudi[2] nous donne à ce sujet une monographie presque complète.

[1] *Fragment d'un voyage dans le Chili et au Cusco.* — *Bull. de la Soc. de géogr.* 2e série, t. XIX, p. 15-57 ; 1843.

[2] *Peru, Reiseskizzen aus den Jahren* 1838-1842. — 2 vol. — Saint-Gallen, 1846.

Sur les hauteurs considérables auxquelles s'élève la Cordillère, l'action de l'air raréfié se fait sentir sur l'organisme d'une manière grave; elle se manifeste surtout par un état de fatigue extraordinaire, et de grandes difficultés à respirer. Les indigènes désignent cette action par les mots de *Puna* ou de *Soroché*, les créoles espagnols par ceux de *Mareo* ou de *Veta*, et l'attribuent à des émanations métalliques, à celles surtout de l'antimoine, qui joue un rôle de premier ordre dans leur physique et leur métallurgie.

Les premiers symptômes de la *Veta* se montrent ordinairement à une hauteur de 12,600 pieds, et consistent en vertiges, bourdonnements d'oreilles et troubles de la vue auxquels se joignent de violents maux de tête et des nausées. Ces accidents frappent les cavaliers, moins il est vrai que les piétons. Plus on monte, plus ces phénomènes augmentent, et il s'y ajoute une fatigue des membres inférieurs qui va jusqu'à l'impossibilité de se mouvoir, avec une respiration très-anxieuse et de violents battements de cœur. Un repos complet fait disparaître pour un instant ces symptômes, qui, aux moindres mouvements, reviennent aussitôt avec une intensité nouvelle et sont accompagnés souvent alors de défaillances et de pénibles vomissements. Les vaisseaux capillaires de la conjonctive, des lèvres, du nez, se rompent, et le sang sort par gouttes. Les muqueuses respiratoires et digestives sont le siége de semblables accidents; des diarrhées, des crachats sanguinolents sont le signe de la *Veta* à son plus haut degré d'intensité.

On peut approximativement comparer ce malaise au mal de mer (d'où son nom de *Mareo*); mais chez lui seul surviennent les angoisses respiratoires. Il n'est pas rare de voir ces accidents acquérir une intensité suffisante pour entraîner la mort des voyageurs. Je rencontrai en 1839 à Pachachaca un officier qui portait les dépêches de Lima à Cuzco, mais qui, une année, étant passé par la Piedra parada, périt à la suite d'hémorrhagies pulmonaires et intestinales occasionnées par la Veta. Tous les habitants des côtes et les Européens qui pour la première fois franchissent les hautes Cordillères, éprouvent cette maladie qui généralement n'est pas tenace chez les personnes saines, mais qui frappe à un haut degré celles qui sont faibles, nerveuses, malades de la poitrine ou du cœur, et aussi les pléthoriques et les gens trop gras. Un négociant allemand de Lima, homme très-corpulent, qui était allé au Cerro de Pasco pour ses affaires, dut au bout de quelques heures quitter rapidement la ville, et descendre dans la vallée pour fuir la Puna.

Par un long séjour dans ces hautes régions, l'organisme s'accoutume à cette action de l'air raréfié. Des Européens vigoureux peuvent même grimper avec légèreté les plus hautes montagnes et s'y mouvoir aussi librement que sur les côtes. J'ai eu deux fois seulement la Veta, mais à un haut degré ; une fois sur un plateau élevé, une autre fois sur la montagne d'Antaichahua. La première fois que je traversai la Cordillère, je ne ressentis pas la moindre incommodité, et je pus, descendant de mon cheval fatigué, marcher pendant une longue traite, sans éprouver de symptômes de la Veta, si bien que je m'en croyais à l'abri pour toujours. . . . .

. . . .

Les Indiens montagnards, qui vivent depuis leur enfance dans cet air raréfié, ne souffrent pas de la Veta..... Les médecins de Lima ont coutume d'envoyer dans la montagne les personnes épuisées, afin que l'air pur leur rende de la force; mais elles y sont atteintes de la Veta à un degré extraordinaire, et souvent laissent leur vie dans la Cordillère. . . . .

. . . .

La Puna paraît agir plus énergiquement sur certains animaux domestiques que sur l'homme lui-même. Cela se voit surtout chez les chats ; ces animaux ne peuvent vivre au-dessus de 13,000 pieds d'altitude. On a souvent essayé d'en amener dans

les villages élevés, mais toujours en vain, car après quelques jours ils étaient pris de convulsions épileptiformes terribles auxquelles ils succombaient..... Ces chats malades ne cherchent pas à mordre, ni à fuir..... On les appelle dans le pays *azorochados*, et on leur donne de l'antimoine. Les races délicates de chiens sont attaquées de même, mais moins énergiquement.

Les voyageurs dans les Cordillères sont encore sujets à des accidents qu'on désigne par le nom de *Surumpe*.. .. Ce sont des affections oculaires dues à l'action du soleil réfléchi sur la neige. (T. II, p. 66 et suiv.)

Dans son ascension de la Cordillère, Tschudi vit pour la première fois, à une hauteur d'environ 4000 mètres, les chevaux atteints de la *veta* :

Ils commencent par marcher plus lentement, s'arrêtent fréquemment, tremblent de tout leur corps et s'abattent. Plus ils montent haut, plus ils tremblent fort et plus ils tombent souvent. Si on ne les desselle pas, si on ne les laisse pas se reposer complétement, ils se couchent sur le sol. Les arrieros saignent en quatre places un animal dans cet état : au bout de la queue, au palais, aux deux oreilles ; ils leur coupent souvent les oreilles et la queue jusqu'à moitié et leur fendent les naseaux sur une largeur de plusieurs pouces. Ce dernier moyen me paraît devoir être de quelque utilité, parce que ces animaux peuvent alors aspirer une plus grande quantité d'air. Comme préservatif on leur met de l'ail dans les naseaux. Les mulets et les ânes souffrent moins de la Veta, probablement parce qu'ils savent mieux se reposer. Les chevaux nés dans la Sierra sont presque exempts de ces accidents. (T. II, p. 32.)

Un épisode très-saisissant des récits de Tschudi, c'est l'histoire de son séjour de vingt-quatre heures dans la Puna glacée du Pérou, à une hauteur moyenne de 4300 mètres :

Je commençais à gravir vigoureusement la montagne, quant je ressentis l'influence redoutable de l'air raréfié ; j'éprouvais en marchant un malaise inconnu. Il me fallait demeurer tranquille pour pouvoir aspirer l'air : encore y arrivais-je à peine ; si j'essayais de marcher, une angoisse indescriptible s'emparait de moi. J'entendais frapper mon cœur contre mes côtes ; la respiration était courte et entrecoupée ; j'avais sur la poitrine un poids énorme. Mes lèvres étaient bleues, enflées, crevassées ; les capillaires de la conjonctive se déchirèrent, et il en sortit quelques gouttes de sang. Les sensations étaient singulièrement émoussées ; la vue, l'ouïe, le toucher, étaient altérés ; devant mes yeux flottait un nuage épais, grisâtre, souvent rougeâtre, et je versais des larmes sanguinolentes. Je me sentais entre la vie et la mort ; ma tête tourna, mes sens défaillirent, et je m'étendis tremblant sur le sol. En vérité, quand les richesses les plus précieuses, quand une gloire immortelle m'eussent attendu quelques centaines de pieds plus haut, il m'eût été physiquement et moralement impossible d'étendre seulement la main vers elles.

Je restai quelque temps couché sur le sol dans cet état de demi-évanouissement ; puis je me remis un peu, je me hissai péniblement sur mon mulet, et pus avancer. (T. II, p. 152.)

Les récits faits par de Castelnau[1] ne sont pas moins explicites, et contiennent maints détails curieux :

Notre séjour, en septembre 1845, à Chuquisaca, ville de 11 à 12,000 âmes, (République bolivienne), fut assez triste..... La plupart de mes compagnons souffraient aussi du *soroché*, incommodité causée par la raréfaction de l'air dans les grandes altitudes (suivant les observations de M. Pentland, Chuquisaca est à 9,343 pieds anglais (2847m) au-dessus de la surface de la mer) : c'est surtout en gravissant les inégalités des rues qu'on éprouve cette pénible sensation d'étouffement ; les chiens, les chevaux et les animaux de charge y sont également assujettis, et j'ai vu de ces derniers dont le sang s'échappait par les narines. Les muletiers ont l'habitude, dans ce cas, de leur faire avaler des gousses d'ail. On a souvent vu des animaux périr d'accidents semblables ; les chevaux surtout sont dans ce cas. Pour peu qu'on les excite, ils cherchent à surmonter le malaise qu'ils ressentent, et tombent quelquefois morts dans les rues ; les mules, au contraire, s'arrêtent d'elles-mêmes et ne se remettent en marche que quand elles sont reposées, malgré le mauvais traitement qu'un maître imprudent peut leur faire éprouver. (T. III, p. 317.)

A la Paz (3717m), de Castelnau assiste à un combat de taureaux :

Malheureusement, dit-il, les taureaux de la Paz, nourris dans les plaines gelées de la Puna, et qui d'ailleurs avaient probablement le *soroché*, qui par parenthèse est effroyable dans cette ville ; ces taureaux, dis-je, ne montrèrent d'énergie que pour fuir devant d'ignobles toreadores à pied, qui cherchaient à les retenir en les tirant par la queue. Le peuple indigné se précipita dans l'arène, et à force de tourmenter ces malheureux animaux, il finit par obtenir le résultat désiré, c'est-à-dire la mort de deux ou trois Indiens. (P. 376.)

L'un des compagnons de voyage de Castelnau, Weddell, gravit en octobre 1847 le volcan d'Aréquipa. Il exprime ainsi les souffrances que lui fit éprouver cette ascension :

La difficulté qu'éprouvaient nos animaux à respirer nous mit dans la nécessité de renoncer à leur concours..... Pour avancer il fallait louvoyer, et même ainsi nous ne pouvions faire dix pas sans nous arrêter, afin de laisser passer l'oppression qui s'était emparée de nos poumons. A mesure que nous nous élevions davantage, non-seulement cette oppression augmenta, en nous obligeant à faire des arrêts plus prolongés, mais la fatigue des membres vint encore s'y ajouter : accident plus fâcheux que le *soroché*, parce qu'un arrêt ne suffisait pas pour y obvier. . . . .

Les dernières forces de mon compagnon s'épuisèrent et il dut me quitter. Seul je continuai mon voyage, haletant ;... je ne pouvais guère avancer plus de deux ou trois mètres sans m'arrêter pour prendre haleine. (P. 449.)

En mai 1846, de Castelnau quitta Lima pour se rendre à Cusco.

[1] *Expédition dans les parties centrales de l'Amérique du Sud. — Hist. du voyage*, t. III et t. IV. — Paris, 1851.

Il eut ainsi à franchir de hautes montagnes. Au col de la Vinda (4720^m), le soroché le frappa assez vigoureusement :

La végétation, même celle des cierges rabougris, disparut. M. d'Osery se plaignit beaucoup du *soroché*, et il était obligé de s'arrêter à chaque instant, ainsi que Florentino. On donne ici à cette maladie le nom de *veta*, et l'on est persuadé qu'elle est due à la présence de filons d'antimoine. . . . .

A peine étions-nous arrivés au petit établissement de Casacancha que, descendant de cheval, je me sentis pris du soroché dont je n'avais pas éprouvé les effets jusque-là ; j'eus d'abondants vomissements de bile, et j'éprouvai tous les symptômes du mal de mer auquel je suis très-sujet. . . . .

Lorsque, après une très-mauvaise nuit, je voulus au matin monter à cheval, j'en sentis l'absolue impossibilité. M. d'Osery pouvait à peine se traîner ; Florentino, ancien marin, était étendu à terre ; le petit Catama seul jouait comme à l'ordinaire, et ne semblait nullement se ressentir du soroché. Enfin, comprenant combien il était indispensable d'atteindre des régions moins inhospitalières, nous parvînmes à nous mettre en selle dans l'après-midi ; mais après avoir fait moins d'une lieue, nous nous laissâmes, au positif, tomber à la porte d'une ferme où nous fûmes bien traités. (T. IV, p. 194.). . . . .

On assigne au Cerro de Pasco une hauteur de 13,673 pieds anglais (4166^m)..... Malgré l'ardeur des rayons du soleil, on est gelé dès qu'on se trouve à l'ombre, et l'on est constamment sous la pénible influence du *soroché*..... Le climat est tellement funeste, que les ecclésiastiques ne cherchent à garder cette cure que pendant trois ou quatre ans, malgré ses énormes bénéfices..... La population, en 1845, était de 18,000 âmes...., c'est aux mines d'argent seules qu'est due cette agglomération.... L'orge n'y donne pas de grains. (P. 196.)

De Castelnau fit, au bout de quelques jours, une excursion dans une caverne voisine, située à une hauteur de 4400^m, et dans laquelle il trouva des ossements d'animaux disparus, entre autres une sorte de tatou (probablement un glyptodon) :

Nous souffrions, dit-il, affreusement du *soroché*, dont les étouffements étaient tels qu'ils nous obligeaient à chaque instant à prendre du repos : les Indiens mêmes en semblaient atteints.

Un touriste français aux récits pittoresques, M. de Saint-Cricq, qui publia ses voyages sous le pseudonyme de Paul Marcoy[1], éprouva de semblables accidents en se rendant d'Aréquipa à Puno. Il avait passé la nuit à la maison de poste d'Apo (pas de date) :

Au bout d'une heure de marche, qui nous avait élevés de quelques centaines de mètres, je commençais à ressentir un malaise général que j'attribuai à l'insuffisance de la pression atmosphérique. Ce phénomène, que les Quechuas des hauteurs appellent *soroche*, et dont ils n'ont pas à souffrir, doués qu'ils sont par la nature de poumons d'un tiers plus volumineux que ceux de l'Européen, est attribué

[1] *Voyage à travers l'Amérique du Sud, de l'océan Pacifique à l'océan Atlantique.* — Paris, 2 vol., 1869.

par eux à des gaz méphitiques produits par l'antimoine, en quechua *soroche*, même aux endroits où ce métal n'existe pas. Une contraction du diaphragme, de sourdes douleurs dans la région dorsale, des élancements dans la tête, des nausées et des vertiges sont les prodromes de ce mal singulier, quelquefois suivi de syncope. Mais je n'allai pas jusque-là. Mon guide, averti de ce que j'éprouvais par ma pâleur livide et par mes efforts pour rester en selle, me remit une gousse d'ail, en m'engageant à la croquer..... J'obéis.... mais cet antidote.... n'ayant produit aucun effet, mon Esculape me conseilla de m'appliquer sur le nez quelques coups de poing qui, en déterminant une hémorrhagie, devaient amener un prompt soulagement ; mais le moyen me sembla par trop héroïque, et j'aimai mieux grignoter une seconde gousse d'ail.....

Vingt minutes environ s'écoulèrent, et soit que le remède commençât à opérer, soit que mes poumons s'accoutumassent par degrés à cet air si subtil, je sentis mon malaise se dissiper. (T. I, p. 76.)

Le lieutenant Gillis[1], de la marine anglaise, donne des renseignements semblables, recueillis, il est vrai, de seconde main, mais résumés d'une façon fort sensée.

Dans la première partie de son ouvrage, consacrée à la description géographique du Chili, l'auteur arrive à parler des routes de Santiago à Mendoza, et spécialement de celle de Piuquenes :

Bien peu de voyageurs arrivent à son sommet (13,189 p. au-dessus de la mer) sans éprouver des difficultés respiratoires ; et les pauvres mules en souffrent presque autant que leurs maîtres. Au Chili, cette sensation est nommée *puna*, au Pérou, *veta*, *soroche* ou *mareo*, indifféremment par les natifs et les créoles. Ceux-ci, dans leur ignorance de la vraie cause, l'attribuent aux exhalaisons des veines métalliques si fréquentes dans les Andes. Selon les cas, le malaise consiste en lassitudes extraordinaires, faiblesses, vertiges, cécité temporaire, nausées, accompagnés assez fréquemment d'hémorrhagies par les narines et les yeux. Tout le monde n'est pas soumis à cette influence, et il est évident que certaines dispositions y rendent plus sensibles. Les arrieros recommandent l'ail et l'oignon comme des spécifiques. (T. I, p. 6.)

L'anglais Lloyd[2], qui traversa la grande sierra de l'Illimani, s'exprime ainsi :

Excepté la maladie nommée *soroche*, qui est une oppression des poumons douloureuse et souvent dangereuse, causée par l'extrême raréfaction de l'air à cette grande hauteur, on ne connaît presque aucune maladie, excepté les catarrhes et l'hydropisie. (P. 260.)

Le botaniste français Weddell[3], dont nous avons rapporté les souffrances alors qu'il accompagnait de Castelnau, retourna plus

[1] *The U. S. naval astronomical Expédition to the southern Hemisphere during the years* 1849-1842. — Chile, Philadelphia, 1859.

[2] *Report of a journey across the Andes, between Cochabamba and Chimoré. — J. of the royal géograph. Society*, t. XXIV, p. 259-265 ; 1854.

[3] *Voyage dans le nord de la Bolivie et les parties voisines du Pérou.* — Paris, 1853.

tard en Bolivie. Il avait traversé sans accidents notables la chaîne de la Cordillère, en venant d'Arica, et arrivé à la Paz depuis près de deux mois, il n'avait rien éprouvé de fâcheux, lorsque, le 22 juin 1851, dans une herborisation, il voulut grimper rapidement une pente escarpée ; il fut pris tout à coup :

Je pourrais difficilement dire, raconte-t-il, ce que je souffris par suite du *soroché*, dans cette ascension qui exigea de ma part des efforts gymnastiques auxquels j'étais bien loin de m'attendre. Toujours est-il que lorsque j'eus atteint avec mes fleurs le sommet du précipice, et que je me fus étendu tout épuisé et haletant sur le sol, je jurai, mais un peu tard, que l'on ne m'y prendrait plus. Dans les premiers moments qui suivirent mon excursion, je ne pensai qu'à ressaisir mon haleine qui semblait sur le point de m'abandonner, et, quelques minutes après, quand j'eus l'idée d'examiner mon pouls, il battait encore cent soixante coups à la minute. Je ne me souviens pas d'avoir jamais été plus oppressé que dans cette herborisation improvisée.

A partir de ce jour, j'éprouvais dans le corps un dérangement dont je ne pouvais me rendre compte, et je pressentais que j'allais être malade. (P. 187.)

Il le fut, en effet, et fort gravement.

Weddell ne s'occupe, du reste, que très-peu du *soroché*, bien que en maints endroits de son récit l'on en reconnaisse l'indication, soit chez les hommes, soit chez les animaux domestiques. Je ne trouve à relever que cette remarque intéressante sur les Indiens postillons, qui vont toujours courant, sur la route de la Paz à Puno :

Ils ne paraissent, dit-il, jamais essoufflés, tandis que, dans ce même pays, un Européen peut à peine courir dix pas sans être obligé de s'arrêter. (P. 547.)

Il y a là, comme on le verra, une très-grande différence avec ce que signalent les voyageurs de l'Himalaya ; les coolies indiens, nous disent ceux-ci, sont souvent plus malades que les Européens eux-mêmes. Weddell n'est pas seul à faire cette remarque ; les frères Grandidier en ont aussi été frappés [1].

Le 1er août 1858, ces voyageurs partaient d'Aréquipa pour Cuzco :

On éprouve ici, dit E. Grandidier dans sa relation, une souffrance inconnue aux touristes du vieux monde, c'est le *soroché ;* le voyageur qui gravit la Cordillère ressent des douleurs par tout le corps ; il a mal aux reins, à la tête, il a les membres comme brisés, le sang lui jaillit même quelquefois par le nez, les yeux ou les oreilles. Ce malaise général est dû, non à la présence de l'antimoine, ainsi qu'on l'a répété sans raison, mais à la raréfaction de l'air et au manque de respiration. Le *soroché* a même causé la mort de quelques personnes plus impressionnables. Les mules sont aussi soumises à l'influence du *soroché*, et on cite beaucoup d'exemples de ces animaux morts des suites de la raréfaction de l'air. (P. 56.)

[1] *Voyage dans l'Amérique du Sud, Pérou et Bolivie.* — Paris, 1861.

Et, plus loin, en allant de Paucartambo à Puno, leur attention se porte sur les piétons indigènes :

L'Indien suit le cavalier à pied, courant toujours sans jamais perdre haleine, quelque rapide que soit le coursier, et quelle que soit la hauteur des montagnes. La vitesse avec laquelle l'Indien parcourt de longues distances à la course étonne d'autant plus l'Européen, qu'il ne peut, comme l'indigène, vaincre l'oppression que lui cause la raréfaction de l'air et courir à cette altitude sans tomber aussitôt. (P. 194.)

En décembre, les deux frères arrivent à la Paz :

La descente de la Paz est large et bien entretenue ; mais la pente est si rapide qu'on ne peut aller qu'au pas. Cette descente est évaluée à une lieue environ, et il faut une heure au moins pour arriver à la ville. Un espace de temps bien plus considérable est nécessaire pour la gravir, en raison de la difficulté de respiration que les mules éprouvent à la montée ; néanmoins, on m'a assuré que les Indiens la gravissaient en courant et en jouant de la flûte : ils ne sont pas sujets au *soroché*, et à ce point de vue, ils tiennent du lama, dont l'appareil respiratoire est conformé pour la Cordillère qu'il habite. (P. 225.) . . . .

L'Européen nouvellement arrivé à la Paz éprouve les effets d'un violent *soroché;* quand ils parcourt la ville, il est obligé de s'arrêter souvent pour reprendre haleine, tant est grande la difficulté de sa respiration et l'oppression de sa poitrine. La raréfaction de l'air provient de la grande élévation de la Paz au-dessus du niveau de la mer ; cette élévation est de 3730^{m}. (P. 227.)

Semblables récits du voyageur allemand Burmeister[1] qui, dans les premiers jours de mars 1860, se trouvait dans la Cordillère, vers le 28° lat. S., et le 72° long. O. Cependant, il ne parle que par ouï-dire de ces malaises ; du reste, la hauteur maximum à laquelle il se soit élevé fut de 14 000 pieds :

Je n'ai jamais souffert pendant mon voyage, dit-il, de ce qu'on appelle la Puna, c'est-à-dire cette maladie qui survient habituellement sur les hautes montagnes et qui consiste en difficultés à respirer, nausées, faiblesses, vertiges et autres symptômes. Seulement, au début, quand j'entrai dans les gorges près d'Estanzuela, je fus pris de pesanteurs de tête, comme si j'allais avoir des vertiges ; mais il ne m'arriva rien d'autre..... Vraisemblablement j'ai été protégé par la faiblesse de ma constitution ; car les personnes fortes, replètes, sont plus facilement frappées de la Puna que celles qui sont maigres, sèches ou faibles.

Les symptômes de la même affection apparaissent chez les animaux et particulièrement chez les chevaux, dans les sentiers élevés des montagnes ; ils se manifestent principalement par des tremblements des membres et des hémorrhagies violentes, qui ne deviennent cependant pas mortelles. Beaucoup de chevaux, et surtout des meilleurs, tombent sur le sol dans les voyages en montagne. Les indigènes appellent cette maladie la *Trembladera ;* ils prétendent qu'il y a dans la

[1] *Reise durch die La Plata-Staaten, ausgeführt in den Jahren* 1857-1860. — Halle, 2 vol.; 1861.

montagne des endroits où elle frappe surtout les animaux qui passent, ils m'en ont indiqué un dans la sierra Aconquija dont je ne pourrais cependant déterminer la position.

L'Anglais Markham[1] qui, en 1860, fit au Pérou un voyage dans le but d'étudier les quinquinas, et de rechercher les moyens de les introduire dans l'Inde, fournit des renseignements du même ordre :

Sur les hauteurs de la Cordillère, les hommes et les animaux sont sujets à une maladie des plus pénibles, causée par la raréfaction de l'air, et que les Péruviens nomment *sorochi*. J'avais été malade à Arequipa, en telle sorte que j'étais probablement prédisposé à l'atteinte du sorochi, que j'ai éprouvé au plus haut degré. Avant d'arriver à Apo (mai 1860), un violent serrement de tête, accompagné d'une souffrance aiguë et de douleurs dans la région postérieure du cou, me rendit fort malade, et ces symptômes augmentèrent d'intensité pendant la nuit passée à la maison de poste d'Apo, en telle sorte qu'à trois heures du matin, quand nous recommençâmes notre voyage, je fus incapable de monter sur mon mulet sans aide. (P. 89.)

Aussi voyons-nous, dans la description officielle de la Confédération argentine, le Dr Martin de Moussy[2], qui avait séjourné pendant dix ans dans le bassin de la Plata, donner une description détaillée de la forme américaine du mal des montagnes :

On donne le nom de *puna* à cette sensation pénible, à cette anxiété respiratoire que quelques personnes éprouvent lorsqu'elles se trouvent à de grandes hauteurs. Cette sensation est certainement due à la raréfaction de l'air, car, à 4200^m, altitude générale du plateau, la colonne barométrique est réduite en moyenne à 0^m,46..... et il est impossible qu'une si énorme différence dans la pression atmosphérique ne produise pas une impression profonde sur l'économie animale. Cette impression varie d'ailleurs selon les personnes ; les unes ont la respiration gênée, les autres éprouvent de la céphalalgie, une sorte de migraine et une perte complète de l'appétit. Beaucoup n'éprouvent rien ; mais, lorsque l'on veut marcher, presque tout le monde sent une fatigue insolite.

Quant à la puna proprement dite, à la gène dans la respiration, elle n'est pas seulement particulière aux grandes hauteurs de la Cordillère ; il est certaines localités peu élevées où elle se fait sentir beaucoup plus que dans d'autres. Nous l'avons éprouvée nous-même au bourg de Molinos, qui n'est pourtant qu'à une altitude de 1970^m, et dans une vallée entourée de montagnes granitiques qui n'offrent rien de particulier. Il nous est impossible de découvrir une cause à cette particularité, qui se retrouve d'ailleurs sur différents points des Andes de Bolivie.

Les animaux éprouvent également cette fatigue de la respiration dans leurs premières traversées des Cordillères ; mais ils s'y habituent assez vite, et telle est leur vigueur, que les mulets en bon état et chargés convenablement ne faiblissent jamais dans les voyages ordinaires. (T. I. p. 217.)

[1] *Travels in Peru and India.* — London, 1862.

[2] *Description géographique et statistique de la confédération argentine.* — 3 vol. — Paris, 1860-64.

Mateo Paz Soldan en fait autant dans sa *Géographie du Pérou*[1] :

Cerro de Pasco est située sur une pente à 4352^m au-dessus du niveau de la mer... Le climat de cette ville est très-froid, le degré moyen du thermomètre est 44° F. le jour et 34° la nuit, pendant les mois de juillet à octobre, saison durant laquelle il tombe une grande quantité de grêle et de neiges. Quelquefois le thermomètre descend à 30° et à 28° en août et en septembre ; l'eau bout à 180°. Les tempêtes, la grêle et les neiges, rendent ce pays inhabitable à partir du mois d'octobre. Les étrangers y sont sujets à la *soroché*, oppression de la poitrine que l'on appelle dans le pays *veta*, et qui provient du peu de densité de l'atmosphère, dans une région si élevée.... Les anciens mineurs sont sujets à un grand nombre de maladies et d'infirmités. .. Si ce pays ne possédait point des mines d'une richesse inépuisable, il serait absolument impossible de l'habiter. (P. 172.)

Vers cette époque parut sous forme de thèse soutenue devant la Faculté de médecine de Paris un travail remarquable, dû à un jeune médecin, Ch. Guilbert[2] qui, atteint de phthisie, alla demander à un séjour à la Paz, et y obtint, la guérison ou du moins une amélioration considérable de sa redoutable maladie. Je citerai tout au long la description très-serrée qu'il fait du *soroche* :

Le *soroche* ou mal de la *puna* débute de deux manières différentes : les uns se plaignent immédiatement de la respiration, et c'est ce qui a le plus attiré l'attention des observateurs ; chez les autres, et c'est suivant moi le plus grand nombre, les phénomènes nerveux débutent d'abord. Il y a même quelques voyageurs qui ne sont nullement gênés pour respirer.

La même différence se retrouve dans la durée de ces deux ordres de symptômes. Tandis que les phénomènes nerveux ne durent que de 12 à 48 heures, la gêne de la respiration et de la circulation persiste quelquefois pendant quelques mois.

Le système nerveux est donc souvent impressionné le premier, et il réagit sur l'appareil digestif et l'appareil locomoteur. On éprouve d'abord des nausées, accompagnées de crachotements très-significatifs.... En même temps survient une douleur de tête excessivement violente, comparée à un cercle de fer qui étreindrait fortement les tempes.... Après les nausées, viennent des vomissements souvent très-pénibles, et qui augmentent les douleurs de tête. On éprouve aussi quelques vertiges, des bourdonnements d'oreille, quelquefois de la somnolence. . . . . .

Un autre phénomène est la fatigue musculaire.... Cette inaptitude à la contraction musculaire, on l'éprouve même à cheval, et à ce point qu'on est obligé de descendre de leurs montures des personnes incapables de bouger. Mais, les premiers jours passés, cette grande fatigue disparaît complètement avec le moindre repos. Dans les villes, on reconnaît facilement les nouveau-venus : tous les 40 ou 50 pas ils s'arrêtent quelques secondes.

La respiration et la circulation s'accélèrent d'autant plus que l'élévation est considérable. La dyspnée est intense, les inspirations très-fréquentes.... Les battements du cœur sont plus forts, plus nombreux ; au moindre effort on est saisi de

[1] Trad. de Mouqueron. — Paris, 1863.

[2] *De la phthisie pulmonaire dans ses rapports avec l'altitude et avec les races au Pérou et en Bolivie. — Du soroche ou mal des montagnes*. Thèse de Paris, 1862.

palpitations violentes qu'on éprouve aussi bien à cheval qu'en marchant. La nuit même, il arrive souvent qu'on est réveillé en sursaut par de fortes palpitations au milieu du sommeil le plus tranquille. . . . .

Le battement des artères est plus fort, celui des artères intra-crâniennes très-douloureux, le pouls est vibrant, à peu près comme dans l'insuffisance aortique. Un accident assez fréquent, dans ces circonstances est une hémorrhagie nasale, buccale ou pulmonaire ; rarement on a observé des hémorrhagies par la surface muqueuse gastro-intestinale.... Mais lorsqu'on s'est habitué à l'air raréfié, lorsque l'équilibre s'est rétabli, et que les différents appareils se sont mis en harmonie avec le milieu ambiant, les hémorrhagies ne sont pas plus fréquentes que partout ailleurs..... Un phénomène important est la tendance à la syncope, aussi faut-il être très-sobre de saignées. . . . .
. . . .

Les symptômes nerveux disparaissent les premiers : le mal de tête ne dure guère que de 12 à 24 heures ; les nausées, les vomissements, pas davantage.... Le troisième ou quatrième jour, l'appétit renaît un peu ; aussitôt qu'on a pu prendre un peu de nourriture, la pesanteur de tête disparaît à son tour, et il ne reste plus que la gêne de la respiration, la fréquence des battements du cœur, les palpitations survenant au moindre effort, et augmentant encore l'essoufflement. Plus tard, l'équilibre s'étant établi, peu à peu, tous ces symptômes disparaissent généralement au bout de quelques semaines, et l'on s'accoutume parfaitement à vivre dans ces hautes régions.

Ainsi Guilbert considère qu'on peut parfaitement s'acclimater sur les hautes régions. Il rappelle les paroles de M. Boussingault, que nous avons citées plus haut (page 44), et ajoute :

Le Pichincha a 4996^{m} ; le général bolivien Santa Cruz y battit les Espagnols en 1822. Deux ans après, à Ayacucho, village situé à une hauteur peu différente, le général colombien Sucre battit le vice-roi La Serna. . . . .

J'ai vu à Corocoro (4450^{m}) des combats de taureaux des plus meurtriers. Ces taureaux, agiles et furieux, auraient pu servir à l'édification du voyageur cité par Lombard[1], qui vit à la Paz des taureaux doux et incapables du moindre effort sans être atteints de vomissements ; c'étaient des taureaux nouvellement arrivés dans la montagne et sous l'influence du *soroche* qui se fait sentir sur les animaux aussi bien que sur les hommes.... Il est fort rare de traverser les Cordillères sans assister aux angoisses de quelque bête de somme, atteinte du *soroche;* on se hâte de la décharger, on la frictionne, et, après un moment de repos, on la laisse suivre en liberté.

Je reproduis au chapitre spécial le mélange fort éclectique d'explications théoriques que Guilbert accepte.

Le professeur italien Pellegrino Strobel[2], qui parcourut les diverses passes entre Santiago et Mendoza, fut assez heureux pour ne

[1] C'est de Castelnau qu'il s'agit. (Voir page 51.)

[2] *Relazione della gita da curico nel Chili a san Raphael nella Pampa del sur* (febraio 1866). — Parma. 1869.

pas souffrir du soroche; il est vrai qu'il ne paraît pas être monté bien haut :

D'après ce qu'à écrit M. de Moussy et ce que m'avaient annoncé mes amis, je m'attendais à éprouver sur le Planchon quelqu'une des sensations décrites sous le nom de *puna*. Mais je ne sais si je dois dire heureusement ou malheureusement, ni ici à 3000^{m} au-dessus du Pacifique, ni sur le Cumbre d'Uspallata à environ 4000^{m}, ni dans aucun autre lieu des chaînes secondaires des Andes, il ne m'a été donné d'éprouver la plus légère différence dans la respiration et l'appétit, encore moins de douleurs de tête et autres symptômes pathologiques ou phénomènes physiologiques ; et cependant par la faiblesse de ma constitution et l'étroitesse de ma poitrine, il semble que j'aurais dû en souffrir plus qu'un autre. Il convient donc d'admettre que la *puna* ne dépend pas uniquement de la raréfaction de l'air, mais aussi d'autres causes concomitantes, qui paraissent tout à fait inconnues (P. 25.)

Cependant deux voyageurs allemands, Focke et Mossbach[1], qui parlent d'après leur propre expérience, déclarent que souvent hommes et bêtes sont malades à des hauteurs plus faibles encore :

Déjà à partir de 10,000 pieds de hauteur, on éprouve le commencement du mal des montagnes, c'est-à-dire un mal de tête stupéfiant; c'est le Sorocho, qui frappe également les bêtes de somme. Celles-ci refusent d'avancer, et pour les guérir on leur fait une saignée sous la langue. (P. 391.)

Enfin, je tiens d'un employé supérieur du gouvernement péruvien, homme fort éclairé, qu'étant allé à la Perina-Cota (4800 mètres) au voisinage du Guayaquiri, il a vu, à partir de 3000 mètres, ses mulets devenir malades; sur 40 mulets, 16 durent être déchargés. Quelques-uns de ses compagnons eurent des saignements de nez. Pendant un séjour de deux semaines à cette grande hauteur, il éprouvait régulièrement, vers trois heures du matin, des étouffements qui le réveillaient; le moindre mouvement les augmentait alors considérablement; ces accidents diminuaient pendant la journée. Les Indiens qui l'accompagnaient souffraient du même mal. Encore aujourd'hui, l'explication généralement admise est l'empoisonnement par émanations métalliques ; on en combat les effets avec des sachets d'ail.

J'ai appris encore de cette personne que pendant le percement du tunnel du chemin de fer de Lima, à près de 4800 mètres, tous les ouvriers avaient été malades, même les plus énergiques. Je regrette de n'avoir pu me procurer de documents détaillés sur les

[1] *Reise über die Cordilleren von Arica bis Santa-Cruz. Extrait in Petermann's Mittheilungen*, t. XI ; 1865.

phénomènes observés pendant l'exécution de cette œuvre extraordinaire. Elle est terminée aujourd'hui, et déjà la locomotive entraine les voyageurs vers des régions qu'ils ne pouvaient atteindre jadis sans les plus violents efforts. Chose curieuse : un certain nombre d'entre eux sont malades cependant. Je lis dans une lettre adressée cette année même à un de mes amis, ce passage fort caractéristique :

Un train spécial est venu nous chercher au Callao, nous a fait remonter le Reinar jusqu'à Lima, puis de là dans les Andes en grimpant par des rampes successives jusqu'à 3450^{m} de hauteur..... Nous fimes ainsi 130 kil..... La température s'était abaissée, la raréfaction de l'air était telle que plusieurs personnes n'ont pu nous accompagner jusqu'au bout. Elles éprouvaient une oppression extrême et avaient les paupières injectées de sang.

Il serait fort à désirer que des observations soignées fussent faites dans ce chemin de fer et dans celui du Titicaca ; cela serait la chose la plus facile du monde aux professeurs de la Faculté de Médecine de Lima.

Je terminerai ces citations des principales descriptions générales données du mal des montagnes dans la Cordillère des Andes en transcrivant une lettre fort intéressante écrite par M. Pissis à M. le Dr Coignard qui lui demandait de ma part des renseignements que sa grande expérience de la montagne me rendait très-précieux. Le savant géographe y décrit d'une manière très-vivante les symptômes qu'il a éprouvés, mais il ne hasarde aucune explication :

Paris, 17 mars 1874.

Mon cher Docteur,

Voici les observations que vous m'aviez demandées sur les effets physiologiques de la raréfaction de l'air dans les hautes montagnes. Les effets généraux sont les maux de tête, les nausées, une grande gêne dans la respiration et une contraction dans la région des fausses côtes, comme si l'on était fortement serré par une ceinture. Ces effets varient d'ailleurs beaucoup, selon l'âge et la constitution des individus ; lorsque je passai le col du Tacora (bar., 463^{mm}), une négresse de dix-huit à vingt ans, très-forte, fut excessivement malade, elle eut une forte hémorrhagie nasale, tandis que sa maîtresse, femme d'environ cinquante ans, d'une constitution faible, fut à peine indisposée; la même différence s'observe sur les animaux : les chevaux les plus forts sont les plus exposés à périr. Les hémorrhagies nasales sont aussi fréquentes chez eux. Après un certain temps de séjour dans les hautes régions, ces effets ne se font plus sentir; les habitants d'Oruro en Bolivie, à 3,796 mètres (hauteur barométrique moyenne 492 ^{mm}) vivent comme au bord de la mer; les Indiens courent des lieues entières sans se fatiguer, et après une année de séjour, je gravissais facilement d'assez hautes montagnes, ce qu'il m'aurait été impossible de faire à mon arrivée.

Le point le plus haut où j'ai vu des habitations permanentes sont les mines de Villacota dans la province de Chayauta, leur altitude est de 5,042 mètres et la pression atmosphérique 421 mm. Les Indiens y travaillent comme ailleurs, cependant ils se fatiguent plus vite, lorsqu'il neige, car il ne pleut jamais dans ces régions; les ouvriers, même ceux qui sont au fond des mines, sont indisposés, et cependant la diminution de pression est à peine de 4 à 5 millimètres. Les alpacas et les vigognes vivent en troupes à ces hauteurs, les condors volent bien au-dessus, et j'y ai rencontré quelques tourterelles. Bien qu'habitué à la pression d'Oruro, lorsque j'allais à ces mines, j'étais toujours indisposé, les nausées, les maux de tête et la gêne de la respiration se faisaient sentir, je ne pouvais faire huit ou dix pas sans être obligé de m'arrêter pour respirer. L'administrateur qui y vivait depuis deux ans pouvait aller un peu plus loin, mais la gêne de la respiration se faisait toujours sentir. A une hauteur de 4,000 mètres, la raréfaction de l'air n'a qu'un effet passager sur la santé, les habitants d'Oruro et de Potosi deviennent très-vieux, les maladies de poitrine y sont inconnues; ils sont généralement maigres, très-agiles, mais ont peu de force, ce qui tient peut-être aussi à leur régime alimentaire presque exclusivement végétal.

Dans le Chili, le point le plus haut où je suis arrivé est sur les flancs de l'Aconcagua à 5,832 mètres, le sommet est à 6,834 mètres. Au point où je m'arrêtai, le baromètre était à 382 mm., j'étais très-malade et il m'eût été impossible de monter plus haut; j'avais les yeux fortement injectés, tous les objets, même la neige, me paraissaient rouges, et même avec mes lunettes d'un verre bleu très-foncé j'eus beaucoup de peine à faire la lecture de mon baromètre. Redescendu, à environ 5,000 mètres, tous ces effets disparurent.

Dans mes nombreuses stations dans la région des Andes, j'ai vu souvent les condors tournoyer sur les flancs des plus hautes montagnes, mais jamais planer au-dessus de leur sommet; il ne faudrait pas toutefois se hâter de rien conclure; car les hauteurs où ils arrivent sont si grandes qu'on ne les voit plus que comme de petits points noirs; et s'il y en avait à la hauteur du sommet de l'Aconcagua, ils seraient certainement invisibles lors même que l'on serait soi-même à 5,000 mètres, c'est-à-dire plus haut que le Mont Blanc. A 4,000 mètres on trouve dans les Andes du Chili des guanacos, des cygnes, des canards, des tourterelles et même des oiseaux-mouches. A. Pissis.

Si les voyageurs qui se sont contentés de traverser les passes de la Cordillère ou de séjourner sur les hauts plateaux habités de la Bolivie et du Pérou ont éprouvé de pareils accidents, on doit supposer que ceux qui ont, de propos délibéré, tenté l'ascension des montagnes qui dominent le niveau moyen de la chaîne, ont été plus éprouvés encore. Il n'en est pas cependant toujours ainsi. Nous avons vu que de Humboldt, que Boussingault, avaient été beaucoup moins malades sur le Chimborazo que les autres voyageurs à Cerro de Pasco ou même à la Paz. D'autres exemples sont non moins curieux.

Ainsi, le 14 janvier 1845, Wisse[1] descend dans le cratère du Rucu-

[1] *Exploration du cratère du Rucu-Pichincha. Nouv. ann. des voyages*, t. CVII, p. 106-112; 1845.

Pichincha à la profondeur de « quatre fois la plus haute pyramide d'Égypte », et remonte; il ne parle d'aucun trouble physiologique.

Nous aurons à nous expliquer plus tard sur ces différences. Elles sont telles que certains voyageurs en arrivent à nier les malaises des altitudes, pour ne pas les avoir éprouvés, et l'on voit reparaître les explications sur l'air empoisonné, qu'ont acceptées à la fois les Indiens des Andes et ceux de l'Himalaya.

Le récit le plus remarquable que je connaisse, sous ce rapport, est celui du voyageur français Jules Rémy[1], qui, le 2 octobre 1856, fit l'ascension du Pichincha (4860^{m}). Le temps était magnifique, il faisait chaud au sommet de la montagne, où les oiseaux-mouches bourdonnaient nombreux. Rémy n'éprouva aucun malaise. :

Ma respiration est libre, facile, heureuse, et je n'éprouve aucun symptôme de malaise, fait important à noter, car il confirme mes observations précédentes, tout en combattant celles d'autres voyageurs qui avaient établi qu'à ces hauteurs la diminution de la colonne atmosphérique cause des troubles graves dans divers organes.

Nous ne connaissons que le Cerro de Pasco, montagne du Pérou, célèbre par les mines d'argent qu'on y exploite, où les phénomènes morbides qui se manifestent dans l'organisme animal soient constants et universels. Là, on est pris infailliblement d'une affection singulière, le *soroche*. . . . .

Mais, si l'on observe que le Cerro de Pasco n'est qu'à 10,000 pieds environ au-dessus de l'océan, et que, après avoir marché de sept à huit lieues, l'état normal de santé renaît subitement, quoique l'on soit alors à une altitude beaucoup plus considérable, on est bien forcé d'admettre que la pression atmosphérique n'entre pour rien dans les causes du soroche, qu'on doit peut-être attribuer aux émanations du sol.

Cependant, en lisant avec attention le récit même de J. Rémy, on y trouve des indications de l'influence fâcheuse des hauteurs ; mais leur peu d'importance avait échappé à notre voyageur.

La même immunité se manifeste chez lui dans l'ascension qui, le 3 novembre 1856, l'amena jusqu'au sommet du Chimborazo[2]; naturellement ses conclusions négatives se trouvent ici singulièrement renforcées. Le campement de la veille se fit à 4700^{m}, un peu au-dessous des neiges perpétuelles :

La montée continuait à être si rapide que bientôt, sous le poids de la fatigue, nous étions obligés de nous arrêter fréquemment pour reprendre haleine. Dès lors, la soif se fit violemment sentir.... Mais nous n'éprouvâmes aucun symptôme de

[1] *Ascension du Pichincha.* — Châlons-sur-Marne, 1858.

[2] Rémy (Jules) et Brenchley, *Ascension du Chimborazo.* — *Nouv. ann. des voyages*, t. CLIII, p. 230-238; 1857.

malaise ou d'affection morbide quelconque, dont parlent la plupart des voyageurs qui ont fait l'ascension de hautes montagnes.

Dès que nous avions suspendu notre marche pendant quelques secondes, sans même nous asseoir, nous la reprenions avec une nouvelle ardeur, avec une sorte d'acharnement que nous inspirait la vue si rapprochée du sommet. Il nous parut évident, par cette nouvelle expérience qui venait en confirmer tant d'autres précédentes, qu'à ces hauteurs la colonne atmosphérique est encore suffisante pour ne pas gêner la respiration, et que c'est à une autre cause qu'il faut attribuer la courte haleine et les accidents organiques dont on se plaint généralement en gagnant des hauteurs notables.

Les deux voyageurs ayant continué leur route au milieu des nuages pensent, d'après l'observation de l'ébullition de l'eau, avoir atteint le sommet du Chimborazo, qu'ils estiment à 6543^m.

Mais il s'en faut de beaucoup que tout le monde soit aussi heureux. Dans un voyage récent, Stuebel[1], tout en mettant en garde le lecteur contre certaines exagérations, avoue qu'il a notablement souffert dans l'ascension du Cotopaxi.

Le 8 février 1873, à sept heures du matin, les voyageurs partirent de la hauteur de 3615^m; à deux heures, ils étaient à 4498^m. Ils arrivèrent sans grandes difficultés au sommet du volcan de Tunguragua (4927^m), sans être fatigués et « sans èprouver de mal de tête. » (P. 273.)

Le 8 mars, ascension du Cotopaxi (5943^m, $\theta=3°,5$) en partant de la ferme Saint-Élie :

Quelques-uns de mes gens avaient pris l'avance, d'autres étaient restés en arrière. Ils étaient fatigués, devenus un peu craintifs, et se plaignaient de douleurs de tête.... L'*arenal* a une inclinaison de 35°; il brise les forces, de sorte qu'il faut employer toute son énergie morale pour ne pas tomber au moment de toucher le but.... Nous avons mis vingt-huit minutes pour chaque cent mètres. (P. 282.)

. . . .

Nous commençâmes à descendre.... je retrouvai peu à peu chacun de mes hommes; l'un était resté à 50 mètres des bords du cratère, dans l'impossibilité d'atteindre le but si rapproché; les autres à 400, et la plupart des muletiers beaucoup plus bas. Comme moi, tous souffraient d'un mal de tête très-violent. Un seul ne sentait rien et n'était pas fatigué; il portait mon baromètre, qui est encore assez lourd. Un muletier ne dépassa pas la hauteur de 5,600 mètres. Je pus constater que les vomissements sont les effets de l'air de ces grandes altitudes, mais non d'une faiblesse passagère de l'estomac.

Cependant, ni dans cette ascension ni dans les précédentes, je n'ai vu le sang partir par le nez, la bouche et les oreilles de mes gens. Ce sont des circonstances sur lesquelles d'autres voyageurs insistent avec prédilection. Certainement il doit paraître étrange que M. Reiss et moi, nous ne citions aucun cas de ce genre. Or,

[1] *Voyages au Chimborazo, à l'Altar, et ascension au Tunguragua*, lettre du 18 avril 1873. *Bull. de la Soc. de géogr.*, 6e série, t. VII, p. 258-295; 1875.

nous avons atteint trois fois 6,000 mètres et plusieurs autres fois 5,000 mètres, altitude à laquelle peu de voyageurs ont monté. Or, toujours nous avons emmené avec nous un certain nombre d'hommes de races différentes.... Le résultat scientifique de ces ascensions, dans lesquelles l'homme n'atteint les cimes qu'en employant toutes ses forces, sera toujours de peu d'importance. (P. 285.)

§ 2. — **Amérique centrale et septentrionale.**

Amérique centrale. — Les républiques de l'Amérique centrale ne contiennent pas de sommets dont l'élévation soit comparable à ceux de la grande Cordillère. Aussi est-ce avec une vive surprise que j'ai rencontré dans les récits d'un navigateur anglais du dix-septième siècle, de Wafer[1], une indication très-nette du mal des montagnes.

Wafer faisait partie de l'expédition de Dampier, et appartenait à la troupe qui essaya de traverser l'isthme de Darien, en 1681. Il se blessa grièvement, et tomba avec quatre autres Anglais entre les mains des Indiens qui, après diverses aventures, lui rendirent sa liberté. Ils partirent alors du voisinage de la mer du Sud pour se rendre à la mer du Nord :

Nous traversâmes, dit-il, plusieurs montagnes fort hautes, mais la dernière les surpassait toutes ; nous fûmes quatre jours à la monter, quoiqu'il y eût quelques enfoncements par-ci par-là. Dès que nous eûmes atteint le sommet, je sentis que la tête me tournait d'une étrange manière ; je le dis à mes compagnons et aux Indiens, qui me répondirent tous qu'ils se trouvaient dans le même état. Il y a grande apparence que cela venait de la hauteur excessive de cette montagne et de la subtilité de l'air.... Notre vertige nous quitta à mesure que nous descendîmes. (P. 174.)

Il convient de noter que Wafer et ses compagnons, que les Indiens eux-mêmes, ses guides, étaient dans un état de fatigue voisin de l'épuisement complet. Mais, malgré cette circonstance aggravante, dont nous verrons plus tard l'importance, je ne puis me rendre compte des circonstances dans lesquelles a pu se trouver Wafer qu'en admettant qu'il ait assez dévié vers le N. O. pour rencontrer le Chiriqui (3430^{m}), ou plus loin encore, mais plus près de la mer du Nord, le Pico Blanco (3600^{m}).

Les seuls explorateurs qui, dans les temps modernes, aient fait l'ascension des volcans les plus élevés de l'Amérique centrale,

[1] Voyage de M. Wafer, où l'on trouve la description de l'isthme de l'Amérique; inséré dans le tome IV du *Voyage aux terres australes*, de G. Dampier. — Rouen, 1715.

MM. A. Dollfus et de Montserrat[1], ne signalent jamais dans leurs récits si détaillés et si intéressants le malaise spécial des grandes hauteurs; or ils le connaissaient, l'ayant éprouvé, comme nous le verrons plus loin, dans leur voyage au Popocatepetl.

Les hauts plateaux habités du Mexique ont donné lieu à des observations analogues, et nous verrons, dans le chapitre consacré à l'analyse des explications théoriques données par les auteurs, que c'est précisément à leur propos que s'est élevée la discussion la plus fructueuse pour le sujet de ce livre. Je crois devoir transcrire ici deux citations intéressantes relatives aux phénomènes observés chez les animaux :

Les chevaux et les mulets dans le Mexique sont, dit Burkhardt[2], souvent sujets à une maladie qui est peu ou pas connue en Europe. Si on les force pendant la chaleur du soleil à de grands efforts ou à un mouvement vite et continuel, ils sont aisément pris d'un battement de cœur et d'une accélération du pouls et de la circulation si grande que par tout le corps arrivent de fortes convulsions.

De larges saignées sont le meilleur remède contre cette maladie, que les Mexicains nomment *asoleado*.... Aussi, avant d'acheter un cheval ou un mulet, a-t-on soin de faire un peu galoper l'animal, et d'observer ensuite si des battements au garrot manifestent la maladie. Souvent les animaux tombent, par suite de cette affection, lorsqu'on les fait travailler sans interruption. (T. I, p. 63.)

J'emprunte l'autre citation à Heusinger[3], qui lui-même l'a prise dans Elliotson :

M. Lyell raconte que les Anglais qui possèdent des mines sur le plateau du Mexique, dans une hauteur de 9,000 pieds au-dessus de la mer, y conduisaient des chiens lévriers pour chasser les lièvres; mais ils ne pouvaient pas supporter la chasse dans l'air raréfié, ils étaient hors d'haleine avant d'atteindre le gibier. Au contraire, leurs petits nés dans cet air ne souffrent pas dans l'air raréfié, ils chassent et atteignent le gibier aussi bien que les meilleurs lévriers de l'Angleterre. (T. I, p. 260.)

Mais je ne dois pas oublier que je m'occupe ici tout particulièrement non des accidents quasi-chroniques et peu nets qui suivent le séjour prolongé sur des hauteurs relativement médiocres, mais de ceux qui frappent soudain les voyageurs qui font l'ascension des montagnes très-élevées.

A ce point de vue, parmi les montagnes dont la hauteur se trouve ainsi sur la limite à laquelle apparaissent les troubles physiologi-

[1] *Voyage géographique aux républiques de Guatemala et de San Salvador.* — Paris, 1868.

[2] *Aufenthalt und Reisen in Mexico in den Jahren* 1825 *bis* 1834. — Stuttgard, 1836.

[3] *Recherches de pathologie comparée.* — Cassel, 1853.

ques dus à l'altitude, il convient de citer tout particulièrement le Popocatepetl (5420m).

Depuis les temps (1519) où l'intrépide Ordaz y monta sur l'ordre de Fernand Cortez, et reçut, pour prix de son courage, l'autorisation de porter un volcan sur son blason, et où une seconde expédition espagnole fut envoyée par le même conquérant pour y chercher du soufre (1522)[1], aucun ascensionniste n'avait foulé le sommet du géant des montagnes mexicaines. Le premier Européen qui en fit l'ascension est le lieutenant anglais W. Glennie, le 20 avril 1827.

Les sensations éprouvées par M. Glennie, dit le secrétaire de la Société Géologique dans l'extrait qu'il donne d'une lettre[2] de ce voyageur, sont celles qu'ont déjà décrites les voyageurs à de grandes élévations, c'est-à-dire, abattement, difficultés respiratoires et mal de tête, ce dernier accident s'étant manifesté d'abord à la hauteur de 16,895 pieds (5147m). On a trouvé que le tabac et les liqueurs spiritueuses produisaient un effet extraordinairement rapide sur le sensorium.

Peu d'années après, le 27 avril 1834, le baron Gros[3], attaché à la légation française de Mexico, fit l'ascension à son tour.

Arrivé au delà de la limite de la végétation, il s'écrie :

L'on commence à sentir que l'on n'est plus dans la sphère où il est possible de vivre. La respiration est gênée ; une sorte de tristesse qui n'est pas sans charmes s'empare de vous. (P. 50.)

Il passa la nuit à cette hauteur. Avant de se coucher, les voyageurs montèrent un peu plus haut « pour accoutumer en quelque sorte nos poumons à respirer par degrés un air si peu fait pour eux. » (P. 51.)

Le lendemain matin, Gros et ses six compagnons se mirent en route :

Nous marchions l'un derrière l'autre, notre bâton ferré à la main.... Nous allions très-lentement, et force était de nous arrêter de quinze en quinze pas, pour pouvoir reprendre haleine. Le flacon d'eau sucrée m'était d'un grand secours ; car, obligé de respirer la bouche béante, mon gosier se desséchait au point de devenir douloureux. (P. 53.)

A 9 heures, nous avions atteint le Pico del Fraïle.... Nos guides refusèrent, par crainte superstitieuse, de continuer le voyage.... L'oppression que j'éprouvais était moins forte que je ne l'avais craint, et mon pouls ne battait que 120 pulsations par minute. (P. 54.)

[1] Jourdanet, *Pression de l'air*, t. I, p. 212.

[2] L. W. Glennie, *The ascent of Popocatapetl* (sic). — *Proceedings of the géolog. Soc. of London*, vol. I, p. 75; 1834.

[3] Gros (baron), *Ascension au sommet du Popocatepetl*. Lettre du 15 mai 1834. *Nouv. ann. des voyages*, t. LXIV, p. 44-68, 1834.

Les voyageurs continuèrent seuls leur route, trouvant « terriblement lourds » les instruments dont ils avaient dû se charger. Pour se reposer, ils déjeunèrent :

Mais légèrement ; il serait imprudent à cette hauteur de manger un peu trop, ou de boire quelque liqueur spiritueuse, car le système nerveux s'y trouve excité d'une manière inconcevable. (P. 55.). . . . .

A midi, nous avions atteint le sommet des rochers perpendiculaires ; mais nos forces commençaient à manquer, et de 10 pas en 10 pas nous étions obligés de faire une longue pause pour respirer et permettre à la circulation du sang de se calmer un peu.

Il fallait crier très-fort pour se faire entendre à vingt pas de distance. L'air est si rare à cette hauteur, que j'ai essayé inutilement de siffler, et que M. Egerton avait toutes les peines du monde à tirer quelques sons d'un cornet qu'il avait pris avec lui.

A 2 heures 1/2, M. de Gérolt était sur le point le plus élevé du volcan. Il sautait de joie. (P. 57.). . . . .

Nous étions harassés, j'éprouvais un violent mal de tête et une pression assez forte sur les tempes ; mon pouls battait 145 pulsations par minute et 108 seulement après avoir pris quelque repos ; mais je ne me trouvais guère plus oppressé qu'au Pico del Fraïle. Nous étions tous les quatre d'une pâleur effrayante ; nos lèvres étaient d'un bleu livide, et nos yeux enfoncés dans leur orbite ; aussi, lorsque nous nous reposions sur les rochers, les bras jetés par-dessus la tête, ou que nous nous étendions sur le sable, les yeux fermés, la bouche béante, et sous nos masques de crêpe, pour respirer plus aisément, ressemblions-nous à des cadavres.... Nous avons vu trois corbeaux voler à 200 pieds au-dessus de nous. (P. 67.). . . .

Un grand nombre de tentatives ont été faites pour monter au sommet du volcan ; presque toutes ont échoué par des causes différentes. Arrivés à une certaine hauteur, quelques voyageurs ont été pris de vomissements de sang, qui les ont forcés à renoncer à leur entreprise. Cependant, en 1825 et en 1830, quelques Anglais sont parvenus jusqu'au cratère. M. W. Glennie est le premier, je crois, qui l'ait vu. (P. 68.)

Les voyageurs redescendirent et passèrent la nuit au même endroit que la veille :

Nous étions trop fatigués et surtout trop agités pour bien dormir. Eveillé, je ne parlais que du cratère, et si je venais à m'endormir, je remontais là-haut, l'oppression recommençait, et je me réveillais en sursaut. (P. 64.)

MM. Truqui et Craveri, dans leur ascension de septembre 1855, furent plus heureux :

Je dois faire observer, dit l'un d'eux [1], que nous n'éprouvâmes presque aucune gêne de la respiration pendant l'ascension ; il nous parut au moins que si nous ressentions quelque oppression, il n'y avait lieu de l'attribuer qu'à la fatigue d'une montée longue et difficile. (P. 316).

[1] *Ascension du volcan du Popocatepetl* (montagne de la fumée) en septembre 1856. *Nouv. ann. des voyages*, t. CLIII, p. 304-317 ; 1857.

En janvier 1857, fut exécutée, sous la conduite de M. Laverrière, directeur de l'École d'agriculture de Mexico, une ascension scientifique au Popocatepetl, expédition qui faisait partie d'une série de recherches sur l'histoire naturelle du Mexique entreprise avec la plus louable ardeur par le gouvernement du général Comonfort.

M. Laverrière a bien voulu rassembler dans ses notes et ses souvenirs les faits qui, dans cette ascension si fructueuse au point de vue physique et géographique, présentèrent un intérêt physiologique. Je reproduis en entier sa communication pour laquelle je lui exprime mes remercîments :

Parmi les travaux qui nous étaient dévolus se trouvait l'ascension du Popocatepetl, situé au sud-est de la ville de Mexico. C'est par cette ascension que je pensais devoir commencer nos opérations, attendu que la saison où nous nous trouvions alors m'y paraissait plus propice que toute autre.

En effet, tous ceux qui, avant nous, avaient tenté l'ascension du Popocatepetl, avaient échoué ou n'avaient qu'imparfaitement réussi. Oubliant la latitude et les particularités du climat mexicain, ils avaient opéré à des époques où des explorations analogues se font en Europe, c'est-à-dire au printemps ou en été. Je crus, au contraire, devoir profiter pour notre expédition de la saison d'hiver, époque à laquelle l'atmosphère au Mexique est d'une transparence parfaite favorable aux observations, et où, par suite de la température relativement plus basse, les neiges qui enveloppent la portion supérieure du cône occupent une surface plus grande sur ses pentes, ce qui diminue la longueur du trajet dans les sables sans consistance et profonds qui les garnissent, tout en offrant, par leur durcissement, un point d'appui plus ferme aux pieds du voyageur.

En conséquence, notre petite caravane, composée du Dr Sonntag, ingénieur astronome, d'un majordome, de deux élèves de l'École d'agriculture et de trois domestiques, quittait Mexico (2278m) le samedi 17 janvier 1857, par un temps très-chaud, traversait le 18 Chalco situé sur le lac du même nom, Amecameca (2493m) le 19, et s'engageait dans les vastes sapinières qui couvrent les premiers contreforts du volcan, pour arriver au rancho de Tlamacas (3899m) le 20 au soir.

Le rancho de Tlamacas, situé au pied du versant nord du volcan, se compose de quelques cabanes où l'on épure les soufres que, de temps à autre, on va chercher au fond du cratère. Il occupe une clairière près de la limite de la végétation forestière, et dans son voisinage on rencontre plusieurs variétés de pins, remarquables par leur rusticité, par l'excellence de leur bois et l'abondance de leur résine, susceptibles d'être acclimatés en Europe.

C'est dans cet endroit qu'on passa la nuit. A six heures du soir, le thermomètre à l'air libre marquait — 0° 3 C., et — 2° C. une heure plus tard. Malgré un bon feu et nos couvertures, nous eûmes un sommeil agité, qui ne nous procura pas beaucoup de repos ; les Indiens, au contraire, dormirent comme des souches, et le lendemain, de bonne heure, ils étaient debout, dispos et gais, pendant que nous étirions nos membres et que nous faisions des mines renfrognées.

Le mercredi 21 janvier, à cinq heures du matin, tout le monde était à cheval et partait en silence ; les Indiens suivaient à pied. Le froid était si pénétrant, que malgré nos vêtements assez épais, nous grelottions à qui mieux mieux. Un

quart d'heure après, on quittait le bois pour aborder la région des sables en se dirigeant droit vers la pente déjà rapide du volcan. Les chevaux enfonçaient jusqu'au jarret, avançaient lentement, péniblement. Bientôt il fallut s'arrêter fréquemment pour les laisser souffler, car l'air était si piquant, le sentier si raide, qu'à peine ils pouvaient respirer.

A huit heures et demie on atteignait la Cruz (4290^m). Les chevaux étaient rendus, couverts de sueur, haletants. On mit pied à terre, et on les renvoya à Tlacamas. Pour nous, engourdis par le froid, nous reposâmes un peu sur le sable réchauffé par le soleil qui commençait à devenir brûlant.

A neuf heures, chacun se mettait en route, le bâton à la main, à la suite de notre guide indien, Angel, qui, les pieds enveloppés dans quelques chiffons, ouvrait la marche d'un pas singulièrement dégagé comparé au nôtre.

Nous le suivions avec peine, malgré le soin que nous avions pris d'alléger autant que possible nos vêtements et nos chaussures.

Bientôt on atteignit la bande de glace qui précède les neiges. Elle fut franchie sans trop de difficultés, grâce à des entailles pratiquées à la hache par un Indien dépêché à l'avance avec ordre de nous tracer une piste jusqu'au sommet du volcan.

A la limite des neiges perpétuelles (4400^m sur le versant à cette époque de l'année) je commençais à ressentir une lassitude sérieuse. J'étais trempé de sueur, ma respiration était courte, accélérée, et il me semblait que des poids énormes étaient attachés à mes pieds. Tout près de moi, un Mexicain d'Amecameca, nommé Saturnino Perez, qui avait voulu nous accompagner, montait d'une plus ferme allure ; mais sa figure pâle, ses lèvres bleuies, ses yeux hagards, la contraction de sa bouche, la dilatation de ses narines, montraient assez les effets de l'altitude sur sa constitution, toute sèche et robuste qu'elle fût. La rampe était rapide il est vrai ; mais comme la neige était compacte, nous éprouvions moins de difficultés à avancer que lorsque nous étions dans les sables et sur la glace. Seulement l'air était si délié, si sec, si froid, que cet avantage était plus que compensé.

Bientôt, n'en pouvant plus, il fallut faire halte, halte très-courte, car le froid nous saisissait incontinent. Tous les quarante ou cinquante pas on était obligé de s'arrêter pendant une minute ou deux. Les poumons semblaient vouloir refuser le service ; ils n'avaient presque pas la force de soulever la poitrine qui, après chaque inspiration, retombait pesamment sur elle-même.

A 3 ou 400 mètres du sommet, il y eut un moment d'hésitation, d'affaissement. Bien que si près, le but à atteindre semblait encore énormément loin. La pente extrêmement rapide, l'éclat métallique de la neige, le manque d'air, me causaient un abattement inexprimable. Aussi fallut-il rassembler toute mon énergie, faire appel à toute ma raison, et penser surtout à ma responsabilité, pour trouver la force de continuer.

Enfin, grâce à un effort suprême, nous arrivâmes au bord du cratère (5280^m ; température — 2° C.) par une échancrure à laquelle j'ai donné le nom de *Brèche Silicco*, en souvenir du ministre éclairé qui nous avait envoyés. Il était une heure et demie de l'après-midi, et la partie à pied de notre ascension n'avait pas demandé moins de quatre heures et demie.

En dedans du cratère, et dès qu'on a franchi son bord, se trouve une pente intérieure exposée au sud, formée par du sable et des débris de roche. Nous nous y laissâmes choir comme des masses inertes, n'ayant presque plus conscience de nous-mêmes. Ma première sensation fut celle d'un bien-être inexprimable. Mais ce bien-être dura peu. Le sable que j'avais d'abord trouvé chaud me sembla bien-

tôt d'un froid insupportable. Le soleil, d'ailleurs, commençait à baisser, un petit vent dur et sec venait de se lever. Je ne tardai pas à être pris de frissons. Pour me réconforter, je voulus manger, boire quelques gorgées d'un xérès excellent que nos braves Indiens avaient apporté. Mais la gorge était serrée, les aliments ne pouvaient passer, leur vue me répugnait. Le vin, au lieu de l'effet fortifiant attendu, produisait un effet tout différent ; par suite, sans doute, de la perversion du goût, je croyais avaler une eau-de-vie carabinée, une véritable liqueur de feu qui me brûlait littéralement les entrailles. En même temps, et malgré la lassitude, une agitation singulière s'emparait de moi; c'était un sentiment d'inquiétude anxieuse, d'angoisse, qui ne me permettait pas de rester en place. Et, pourtant, quand je voulais me mouvoir, mes forces me trahissaient et me refusaient presque tout service. J'en trouvai cependant assez pour remonter vers le bord du cratère où je pris de la neige avec avidité afin de calmer un peu la soif ardente qui me dévorait.

Cette agitation se calma néanmoins un peu et les forces revinrent pendant quelques heures. Mais le soir, et surtout pendant la nuit que nous passâmes blottis les uns contre les autres sous un pan de rocher, il se déclara chez moi un état véritablement fébrile ; tête en feu, froid perçant dans les membres, 120 à 130 pulsations à la minute, anxiété insupportable, augmentée encore par les sourds grondements qui retentissaient dans l'abîme à côté de nous. Ce fut une nuit dont le souvenir ne saurait s'effacer. Aussi l'aube fut-elle saluée avec bonheur, et après avoir recueilli avec peine les observations dont nous étions chargés, le signal du retour fut donné ; nous quittions le volcan à dix heures et, trois heures après, nous étions rendus au rancho de Tlamacas que nous avions quitté trente heures auparavant.

La Commission scientifique[1] qui accompagna notre malheureuse expédition du Mexique fit aussi cette ascension le 23 avril 1865 ; les souffrances furent très-supportables :

La limite des neiges perpétuelles commence à une hauteur d'environ 4300^{m} au-dessus du niveau de la mer.

Ici tout le monde met pied à terre, et on monte sur la neige en serpentant légèrement.... Quand on a monté environ 100^{m}, on commence à ressentir une grande difficulté à respirer, les poumons sont oppressés, et chaque pas, chaque mouvement du corps vous rend presque haletant ; on est forcé de s'arrêter tous les vingt pas pour reprendre haleine, et il est certaines constitutions qui ne peuvent supporter le malaise, assez faible du reste, qu'on éprouve.

La réverbération du soleil sur la neige est intense ; il est prudent de se munir de verres colorés et de voiles pour ne pas ajouter à la fatigue et à l'essoufflement les vertiges que vous donnerait sans aucun doute cet immense linceul de neige qui vous entoure.

Nous avons pu observer, d'ailleurs, qu'on a beaucoup exagéré les souffrances physiques inhérentes à une pareille ascension ; il n'a pas été question pour nous d'hémorrhagies d'aucune sorte. . . . .

Les Indiens, habitués à cette ascension, peuvent porter un arrobe (11^{k}.) et ils montent très-rapidement. . . . .

Nous arrivâmes au sommet du volcan (le sommet atteint par les voyageurs est

[1] *Récit d'une ascension du Popocatepetl*, par MM. A. Dollfus, de Montserrat et Pavie, Archives de la Commission scientifique du Mexique, t. II, p. 187-201. — Paris, 1866.

l'*Espinazo del Diablo* (5247^{m}), et non le vrai sommet, le *Pico Mayor* (5450^{m})..... Les derniers pas sont assez difficiles ; la raréfaction de l'air, devenant de plus en plus grande, ajoute encore à la difficulté de l'ascension. . . . .
. . . .
A peine étions-nous arrivés au sommet que la difficulté de respiration qui nous accablait cessa de se faire sentir, et nos poumons n'étaient plus oppressés dès que nous demeurions en repos. Cependant, nous avons pu tous observer une certaine exaltation, qui augmenta chez quelques-uns d'entre nous, au point de leur donner un violent mal de tête ; cette exaltation peut se comparer presque à un léger état d'ivresse ; le sang circule avec rapidité, et on peut compter près de cent pulsations par minute. (P. 194.)

Avec le Popocatepetl, il n'existe au Mexique que le pic d'Orizaba (5400^{m}) dont l'ascension puisse entraîner des troubles ou même des accidents. C'est ce qui est arrivé à van Müller[1] et à ses compagnons, le 2 septembre 1856.

Les voyageurs passèrent la nuit à 3000 pieds espagnols du sommet :

Les conséquences du séjour dans un air aussi raréfié se faisaient fortement sentir chez nous tous. Nos mouvements respiratoires étaient devenus beaucoup plus profonds et plus fréquents, suite naturelle de la moindre quantité d'oxygène qui arrivait à nos poumons à chaque inspiration de cet air léger. Tous nous avions un mal de tête violent avec mouvement fébrile. Ces accidents ne pouvaient nous étonner, puisque nous étions à une hauteur plus grande que celle du Mont-Blanc... Quoique couchés les uns près des autres, avec des peaux et des couvertures, nous tremblions tous de froid et de fièvre. La température était au-dessous du point de congélation. (P. 278.)

Le lendemain, ils voulurent terminer l'ascension :

La montée était extrêmement rapide, tellement qu'en 25 pas, nous ne faisions pas plus de 8 à 10 pieds : encore fallait-il nous arrêter après ces 25 pas. . . .
Aucun de nous n'eut pendant l'ascension de saignements de nez ou accidents semblables ; seulement, nous avions une grande congestion sanguine à la tête, tellement que le blanc de nos yeux était d'un rouge foncé..... Tous avaient de violents maux de tête, et tremblaient terriblement à cause de la fièvre. (P. 282.)

Une compagnie nombreuse de voyageurs américains, anglais et mexicains, comprenant des artistes, des ingénieurs et de simples touristes, voulut atteindre, en 1866, le sommet de ce pic. Eux non plus n'y purent parvenir. Ils furent très-éprouvés par des souffrances dont l'un d'eux a fait dans *le Picayune* de la Nouvelle-Orléans un récit fort imagé, et fort bizarrement rédigé. Je n'hésite pas à déclarer, tout en le reproduisant, qu'il me paraît empreint d'une véritable exagération ; j'ajouterai, avec le rédacteur de l'*Al-*

[1] *Reisen in den Vereinigten Staaten, Canada und Mexico.* — Leipzig, 1864.

pine journal, que je ne suis pas bien sûr d'avoir toujours compris ce qu'a voulu dire l'auteur[1], dans son style obscur et ampoulé :

Ils montaient d'abord en chantant et en sifflant ; mais ces bruyantes démonstrations cessèrent bientôt. La respiration devint difficile..... Jusqu'à environ 2000 pieds du sommet, les membres de la compagnie étaient éparpillés à une grande distance les uns des autres. A ce moment, quelques-uns devinrent faibles et tombèrent. Le sang commença à sortir par les oreilles et le nez ; les figures étaient tellement enflées que de vieux amis ne se reconnaissaient que par les habits. Un petit nombre continuèrent à monter un millier de pieds, se couchèrent, dormirent sur la neige ou la poussière noire, et se réveillèrent haletants. Les artistes, chargés de leurs instruments, se ressentirent fortement des effets douloureux de l'atmosphère ; d'un commun accord, ils tournèrent le dos et redescendirent au point où s'étaient arrêtés nos compagnons sans ambition et mal partagés en poumons. . . . .

. . . .

Les ingénieurs et les autres se couchèrent ; ils marchaient en trébuchant, incapables de volonté ou d'action, et appelant ceux qui se trouvaient en avant. N'était la lutte continuelle pour se rattraper à la vie, l'angoisse de la respiration, la perte constante du sang, on se serait cru rêvant endormi dans un creux de neige ou une gorge pleines de cendres. Nous étions alors à 16,000 pieds environ..... Le général S...... continua vers le sommet. Nonobstant les prétentions des gens du pays, il est douteux que personne soit allé aussi loin que nous. Pendant la guerre avec le Mexique, il y a 20 ans au plus, un officier essaya d'atteindre le sommet ; mais il tomba paralysé, à la hauteur de 15,000 pieds. Ses camarades n'allèrent pas plus loin et plantèrent sur ce point un étendard dont la hampe y est encore.

Les deux tiers des nôtres étaient hors de vue ; trois seulement, en outre des guides effrayés, continuèrent leur chemin. Le sang sortait par les oreilles, les narines, la bouche, et les veines se dessinaient sur le front comme de grosses lignes noires ; notre marche était de plus en plus incertaine, la pente plus abrupte et périlleuse..... Le colonel C..., complétement épuisé, fit un discours incohérent, comme un ivrogne.

Une pierre qui vint briser l'épaule du général S.... les força à la retraite, à environ 500 pieds du sommet.

Amérique septentrionale. — L'Amérique du Nord possède, comme nous l'avons vu, sur beaucoup de points, des sommets assez élevés pour que les voyageurs y puissent éprouver les accidents du mal des montagnes. Mais les rudes explorateurs des rives du Colorado, de l'Orégon et du haut Missouri, se soucient peu des ascensions scientifiques et pittoresques. D'autre part, les ingénieurs et les officiers qu'à plusieurs reprises le gouvernement des États-Unis a envoyés dans le Far-West se sont le plus souvent contentés de faire des relevés trigonométriques, et n'ont guère cheminé que sur les cols, dont l'élévation atteint rarement 3000^{m}.

[1] *Attempted ascent of Orizaba.* — *Alpine journal*, t. III, p. 210-214. — London, 1867.

Cependant, le colonel Frémont, dans le récit de son expédition aux montagnes Rocheuses de l'Orégon, nous fournit une observation intéressante[1].

Le 13 août 1842, par 42° lat. N., les voyageurs firent l'ascension d'un pic élevé, et se trouvèrent tout à coup extrêmement fatigués. Le baromètre marquait $20^p,522$, l'altitude fut estimée à 10000 pieds environ (3050^m) ; la température n'était que de 50° F. ; ils s'arrêtèrent pour camper :

Je fus pris peu de temps après, dit Frémont, de maux de tête violents et de vomissements qui durèrent presque toute la nuit. Ces accidents étaient probablement causés par la fatigue excessive, le manque d'aliments et aussi, dans une certaine mesure, par la raréfaction de l'air. . . . .

Le lendemain, deux de nos hommes furent malades et se couchèrent sur le rocher ; à ce moment je fus pris de maux de tête, de vertiges et de vomissements, comme la veille, au point d'être incapable d'aller plus loin ; M. Preuss n'en pouvait pas davantage, le baromètre était à $19^p,401$ et le thermomètre à 50° (p. 67).

15 août.... Le baromètre descendit à 18,293 et le thermomètre à 44° ; nous étions à 13,570 pieds (4130^m) ; à ce point extrême nous vîmes voler une abeille solitaire..... C'est probablement ici le plus haut pic des montagnes Rocheuses.

Notre méthode, pleine de précaution, d'avancer lentement, avait épargné mes forces ; et à l'exception d'une légère disposition au mal de tête, je ne ressentis rien du malaise de la veille (p. 70).

La montagne dont il est ici question est désignée sur les cartes par le nom de Fremont's Peak (4130^m), dans l'État de Wyoming.

Dans le voyage suivant, exécuté en 1843-44, l'expédition américaine traversa la Sierra-Nevada de Californie à une hauteur de 9300^p, le 20 février (ibid. p. 235) ; le 18 juin 1844, elle atteignit aux sources de l'Arkansas, par 11200^p (3413^m) (p. 285) ; dans l'un ni l'autre cas le récit ne porte indication de troubles physiologiques.

J'ai trouvé à relever un récit analogue dans l'immense publication scientifique de l'expédition organisée pour l'établissement du tracé du chemin de fer trans-océanique.

Le 12 septembre 1853, le capitaine Gunnisson[2], ingénieur topographe, fait l'ascension du Mont Creek, près du lac Fork dans le Colorado :

L'effet agréable et réjouissant de l'air pur des montagnes à cette élévation, thème favori de l'éloquence des trappeurs et des voyageurs, se manifesta chez nos hom-

[1] *Report of the exploration to the rocky mountains in the years* 1842. — Washington, 1845.

[2] *Reports of explorations and surveys to ascertain the most practicable and economical route for a rail road from the Mississipi River to the Pacific ocean.* Vol. II. — Washington, 1855.

mes par des éclats de joie bruyants. Mais les exercices physiques violents les rendaient bientôt hors d'haleine ; et nos animaux, en grimpant les collines, s'ils ne s'arrêtaient souvent pour respirer, étaient bientôt tout à fait épuisés ; mais quelques moments de repos leur rendaient leur force et leur vigueur. (P. 53.)

Ils n'étaient cependant qu'à 8559^{p} (2610^{m}) ; baromètre 564^{mm}, température 17°,5.

Le 2 septembre, ils avaient passé au point culminant de leur voyage, par 10032^{p} (3056^{m}), à la passe de Coochetopa, dans le Colorado ; ils ne se plaignirent de rien. (P. 47.)

Le révérend Hines[1] fit, le 24 juillet 1866, avec trois compagnons, l'ascension du mont Hood dans l'Orégon. Ce ne fut pas sans peine, comme il l'exprime énergiquement :

Il n'y avait plus que 700 pieds à faire environ, mais il fallut pendant deux heures s'allonger les tendons, « sinewy tug », pour les grimper. Le soleil brillait de nouveau, et la sueur ruisselait de nos fronts ; mais en approchant du sommet, l'abattement sembla disparaître, et c'est avec un sentiment de triomphe que nous foulâmes le sommet de la plus haute montagne du Nord de l'Amérique. (P. 83.)

Hines était sur ce dernier point dans l'erreur ; Williamson[2], qui est remonté en 1867 sur le mont Hood, n'a trouvé, pour sa hauteur, que 3420^{m} ; il n'est donc pas le plus élevé de la chaîne des Cascades, à plus forte raison de l'Amérique du nord.

Plus récemment, un « mountaineer » anglais très-connu, M. Coleman, a fait l'ascension de montagnes aussi élevées et même plus élevées que le mont Hood.

En août 1868, il monta sur le mont Baker (3390^{m})[3]. Il ne parle dans son récit que des exhalaisons sulfureuses dont souffrirent lui et ses compagnons ; l'un de ceux-ci fut pris de vomissements (p. 365). En août 1870, ascension du mont Rainier (4400^{m})[4], sur le sommet duquel il passa la nuit, se chauffant aux crevasses du volcan, mais fort incommodé par leurs exhalaisons : ici encore, aucune indication physiologique. Mais cela ne prouve rien, car nous verrons, en parlant des Alpes, que les ascensionnistes de profession semblent aujourd'hui se faire un point d'honneur de ne jamais parler des souffrances du mal des montagnes.

[1] *Ascent of mount Hood. — Extract in Proceed. of the Roy. Géogr. Soc.*, t. III, p. 81-84 ; 1867.

[2] *Petermann's Mittheil.*, t. XIV, p. 151 ; 1868.

[3] *Mountaineering on the Pacific. — Alpine journal*, t. V, p. 357-367. — London, 1872.

[4] *Ibid.*, t. VI, 192-193 ; 1874.

§ 3. — **Etna.**

J'ai rappelé, dans le chapitre préliminaire, que les anciens avaient fréquemment fait l'ascension de l'Etna (3313^m); mais ils ne nous ont rien laissé qui puisse faire croire qu'ils aient ressenti quelques symptômes extraordinaires. Les auteurs du moyen âge, qui ont suivi leurs traces, et ont raconté leurs propres voyages, ne sont pas plus explicites qu'eux.

Pietro Bembo[1], qui fit en 1494 l'ascension avec son ami Angelo Chabriele, ne parle même pas de sa fatigue dans son célèbre dialogue avec son fils. En 1540 et en 1545, Filoteo monte à l'Etna avec plusieurs de ses amis : il ne dit rien de net[2]. Thomas Fazello[3] donne un peu plus de détails dans le récit de son ascension du 6 « des calendes d'août » 1541 ; il ne voit cependant à signaler qu'une extrême fatigue :

Nous dûmes monter à pied la cime de la montagne; l'ascension fut très-ardue : ici les aspérités du terrain, là, des sables profonds nous retardant, nos pieds glissant en arrière ; nous eûmes tant de difficultés enfin, que bien qu'il n'y ait pas plus de 50 pas de hauteur, nous y perdîmes deux bonnes heures, et enfin arrivés au sommet, haletants et ruisselants de sueur, nous nous couchâmes à terre. (Decas I, liber II, caput IV ; t. I, p. 116.)

Mais un siècle plus tard, en 1671, l'illustre iatro-mathématicien Borelli[4], dont l'attention avait du reste été éveillée par les récits des voyageurs dans l'Amérique du sud, constate des malaises qu'il signale nettement :

Parmi les observations remarquables que je pus faire au sommet de l'Etna dans l'année 1671, se place un effet inattendu, dû à la raréfaction de l'air. Là, en effet, des mouvements médiocres.... amenaient une telle lassitude, que des hommes jeunes et robustes se voyaient obligés de se reposer, de s'asseoir, et de refaire leurs forces en respirant fréquemment. (P. 242.)

Puis, il cherche à expliquer ces troubles; nous verrons qu'il en donna successivement deux théories différentes. Mais les sensations qu'il avait signalées n'ont point été éprouvées par tous les voyageurs, et nous voyons ici commencer une série d'apparentes

[1] *Opere*, vol. 4. Venet, 1729.
[2] *Ætnæ topographia;* in *Thesaurus antiq. sicul.* — Lugd. Bat., 1723.
[3] *De Rebus siculis.* — Catane, 1749.
[4] *De motu animalium. Pars altera.* — Rome, 1681.

contradictions dont nous aurons, et de nos jours encore, à citer de nombreux exemples.

En effet, Riedesel[1], dans la relation de son voyage en Sicile, raconte son ascension du 1er mai 1767, et il ajoute :

Je n'ai pas trouvé, comme divers voyageurs l'assurent, l'air raréfié et subtilisé au point de couper ou pour le moins de gêner beaucoup la respiration ; ce qui peut dépendre, au reste, de la conformation et des dispositions de la poitrine et des poumons de chaque sujet qui en fait l'épreuve. (P. 132.)

Demeunier[2], Hoüel[3], qui firent vers la même époque la même ascension, ne parlent d'aucun trouble observé. Delon[4], arrivé au sommet de l'Etna, s'écrie avec enthousiasme :

Un air éthéré qui presse, étonne l'existence, et en fait connaître une qui avertit l'homme qu'il est hors de la région où ses organes l'enchaînent. On sent l'impression de sa témérité....

Je laisse au lecteur le soin de décider si ce pathos exprime quelque phénomène physiologique, et négligeant là d'autres témoignages aussi peu importants, j'arrive à ce que rapporte Dolomieu[5], qui, le 22 juin 1781, fit l'ascension de l'Etna; le célèbre minéralogiste fut très-sérieusement atteint, et son guide plus encore que lui :

Le froid était très-vif...., souvent la respiration me manquait, et j'étais obligé de m'arrêter tout court pour reprendre haleine, et prévenir de fortes palpitations que je ressentais dans les artères pulmonaires.... Mon guide me criait sans cesse de marcher plus doucement, et lorsque j'arrivai sur la plaine, auprès de la Tour du Philosophe[6], il me déclara qu'il ne pouvait pas aller plus loin, qu'il se sentait très-mal, et effectivement, un moment après, il tomba sans connaissance, la pâleur de la mort sur la figure, et dans l'état le plus fâcheux.... Quelques gouttes de vin le firent un peu revenir ; mais il était sans force et semblable à un homme qui va mourir. (P. 98.)

Dolomieu continua seul sa route et parvint au cratère sans que son récit garde trace de souffrances véritables : il ne parle que de sa fatigue.

[1] *Voyage dans la Sicile et dans la grande Grèce*, adressé par l'auteur à son ami, M. Winckelmann; traduit de l'allemand (sans nom d'auteur). — Lausanne, 1773.

[2] *Voyage en Sicile et à Malthe*, t. I, p. 225. — Amsterdam, 1775.

[3] *Voyage pittoresque des isles de Sicile, de Malthe et de Lipari*, t. II, p. 103. — Paris, 1784.

[4] *Voyage en Sicile*. — Paris, 1788.

[5] *Relation d'un voyage fait depuis peu sur ce volcan* : in *Voyage pittoresque ou description du royaume de Naples et de Sicile*, par l'abbé Saint-Non. — 4e vol., p. 91-104. — Paris, 1785.

[6] Bâtie par Empédocle, suivant la légende. (Voir Fazello, *loc. cit.*, t. I, p. 115.)

La narration que nous a laissée Spallanzani de son ascension du 3 septembre 1788 est intéressante, particulièrement à cause de l'historique qu'il fait des appréciations des voyageurs qui l'ont précédé :

La raréfaction de l'air au sommet de l'Etna ne produisit point sur moi les mêmes effets qu'éprouvèrent quelques-uns des voyageurs qui m'avaient précédé. Le chevalier Hamilton (26 septembre 1769) sentit sa respiration gênée par la grande subtilité de ce fluide ; le comte Borch (16 octobre 1776) en fut encore plus incommodé ; « la raréfaction de l'air sur cette montagne, dit-il, est très-sensible, et telle que ce fluide n'y est presque plus propre à la respiration ». Riedesel (1767), au contraire, n'en souffrit pas, ou n'en souffrit que très-peu, comme on le peut voir par cette phrase : « Je ne me suis point aperçu que l'air fût aussi raréfié que l'assurent plusieurs voyageurs, ni assez subtil pour empêcher de respirer, ou même pour gêner beaucoup la respiration ». Brydone (27 mai 1770) n'en parle point, et je conclus de son silence que la subtilité de l'air ne le fatigua nullement. Quant à moi, mon domestique et mes deux guides, l'air ne nous fit éprouver aucune incommodité. La difficulté de grimper.... rendait, il est vrai, notre respiration pénible et précipitée; mais, parvenus au sommet, après un peu de repos, nous retrouvions bientôt nos forces, et même en marchant nous ne sentions plus de difficulté à respirer. (P. 272.)[1]

L'illustre physiologiste ne fit pas là preuve de sa sagacité ordinaire; il n'a pas su distinguer, comme l'avait fait Borelli cent ans auparavant, les effets de la marche d'avec l'état de repos, et quoi qu'il en ait dit, on voit facilement que l'air lui fit éprouver de véritables, bien que légères, incommodités.

Ferrara[2], dans sa description de l'Etna, va plus loin. Non-seulement l'ascension n'occasionne, selon lui, aucun malaise, mais encore on respirerait avec plus de facilité dans un air si pur :

La densité diminuée de l'air, non moins que son extrême pureté, donnaient une respiration grande, libre.... Il ne s'est produit aucun des malaises que certains voyageurs disent avoir éprouvés à la cime de l'Etna ; ils étaient bien plutôt un effet de leur mauvais état de santé. Tout le monde se portait bien. Dans son ballon, à la hauteur de 21,482 pieds, Gay-Lussac allait bien. (P. 21.)

Le voyageur français de Gourbillon[3], qui fit l'ascension le 10 octobre 1819, n'éprouva rien personnellement ; mais il n'en fut pas de même de ses compagnons de voyage :

M. Wilson avait étrangement souffert ; son visage, naturellement coloré, était défait et pâle, sinon même entièrement livide. Moins âgé, plus ingambe, et n'ayant point souffert autant des exhalaisons volcaniques qui avaient produit sur celui-ci

[1] *Voyages dans les deux Siciles*, traduction de G. Toscan, t. I. — Paris, an VIII

[2] *Descrizione dell'Etna.* — Palermo, 1818.

Voyage critique à l'Etna, en 1819, t. I. — Paris, 1820.

et sur le guide même un effet semblable à celui du mal de mer, mon autre compagnon de voyage ne semblait ni plus frais ni moins empêché.... Lazare, en sortant du tombeau, n'était pas plus pâle. (P. 436.)

De même, le comte de Forbin[1], qui monta au cratère l'année suivante, se trouva fort mal en point :

J'étais à peine à moitié chemin de la Tour du Philosophe au sommet, et déjà le découragement s'emparait de moi. La raréfaction de l'air rendait la respiration difficile : plus tard, l'oppression devint extrême, elle agit à un tel point sur un de nos compagnons de voyage qu'il s'évanouit. On le secourut, et rappelant toutes nos forces, nous atteignîmes, au bout d'une heure et demie, la plus haute sommité du cratère.

Je n'avais ressenti de ma vie une telle fatigue;... ma première impression fut de me trouver comme un malade, affaibli, troublé par les terreurs d'un cerveau fiévreux.... La fatigue des sens, l'exaltation de l'imagination, jettent dans un état voisin du délire. (P. 175.)

Vers la même époque, A. de Sayve fit cette ascension. Les résultats en ont été racontés d'une manière fort intéressante par H. Cloquet, qui s'en servit utilement pour prouver l'influence des grandes hauteurs sur l'organisme. Voici dans quels termes il en rendit compte à la Société Philomathique[2] :

Au mois de janvier 1820, M. H. Cloquet a publié quelques détails sur la topographie médicale de Mont St Bernard, et des réflexions touchant l'influence qu'a, chez l'homme, le séjour sur les cimes sourcilleuses des hautes montagnes. . . .

Malgré ces faits, un célèbre auteur de nos jours, M. Ferrara, a pensé qu'il n'y avait que les gens mal portants qui fussent incommodés en montant au sommet de l'Etna, en Sicile. Un observateur judicieux, M. Auguste de Sayve, a visité ce lieu fameux au mois de mai 1821, et se trouve en contradiction, sous ce rapport, avec le savant M. Ferrara. Voici les principaux résultats des remarques qu'on lui doit, résultats que M. Cloquet trouve propres à appuyer ce qu'il a dit. . . . .

C'est à la fin de la région des neiges que se trouve la petite plaine nommée *Piano del frumento*, au commencement de laquelle sont les ruines.... connues sous le nom de la *Tour du Philosophe....* Avant même d'arriver à ce point, M. de Sayve sentait qu'il respirait avec peine ; il était, malgré le froid, tourmenté par une soif très-vive ; un peu de repos lui rendit ses forces, cependant.

Mais la scène devait changer.... On passe près d'une maison de refuge, qui est au pied du cône, et qui est le bâtiment le plus élevé de toute l'Europe (9,200 pieds)..... Il reste, pour arriver au sommet, un cône absolument nu, de 1,300 pieds d'élévation. . . . .

A mesure que notre voyageur s'élevait sur ce cône du cratère, il sentait son malaise augmenter, et était obligé de s'arrêter presque à chaque pas. Il éprouvait dans tous les membres une faiblesse extraordinaire; il avait mal au cœur, et se

[1] *Souvenirs de la Sicile.* — Paris, 1823.

[2] *Note sur les effets physiologiques de la raréfaction de l'air à de grandes hauteurs.* — Soc. philomathique, p. 120-122; 1822.

croyant sorti de l'élément convenable à sa nature, il cherchait, dit-il, à aspirer un peu d'air, qu'il ne trouvait point dans ce moment critique ; et cependant il était dans un parfait état de santé, lorsqu'il avait commencé son excursion ; son passage à travers la région des neiges ne l'avait que peu fatigué ; on ne peut donc attribuer les accidents qu'il a ressentis qu'à la raréfaction de l'air.

M. Aubert-du-Petit-Thouars.... a raconté à l'auteur qu'il avait éprouvé des symptômes analogues, et surtout une grande défaillance d'estomac, en gravissant la montagne de l'île de Bourbon, appelée le *Bénard*. M. Cloquet, d'ailleurs, a éprouvé lui-même des accidents de ce genre, lorsque, dans les Alpes, il est parvenu à une certaine hauteur. . . . .

M. de Sayve avait avec lui un compagnon qui fut encore bien plus gravement incommodé ; et nous savons que l'infortuné Dolomieu, dans la même ascension, fut aussi atteint de symptômes semblables à ceux que nous venons de signaler. . . . .

. . . .

Ces divers malaises sont assez variés et commencent à se manifester plus tôt chez certaines personnes que chez d'autres ; mais on ne saurait les attribuer à la fatigue ; celle-ci n'a jamais de pareilles conséquences dans les montagnes qui ont moins de 1,000 toises d'élévation.

Ils se montrent, du reste, également, et chez les animaux et chez l'homme.

Je ne pousserai pas plus loin ces citations. Les auteurs plus récents montrent les mêmes inégalités d'appréciation, et la plupart ne disent rien des troubles physiologiques. Ce que j'ai rapporté suffit pour montrer que l'Etna est, si l'on peut ainsi parler, une montagne *limite*, dans l'ascension de laquelle beaucoup de personnes n'éprouvent aucun phénomène fâcheux, d'autres se trouvant, au contraire, plus ou moins malades. Les premiers symptômes de malaise étant précisément ceux d'une fatigue excessive, il en résulte que les difficultés de l'ascension du cône suffisent pour tout expliquer aux yeux de la plupart des voyageurs ; quelques-uns mettent le compte de l'oppression sur des exhalaisons nuisibles venant du volcan par les fissures innombrables du sol. Il n'est donc pas étonnant qu'avant la constatation du malaise propre aux montagnes, dans le massif des Andes, on n'ait rien signalé d'extraordinaire dans les ascensions à l'Etna.

§ 4. — **Pic de Ténériffe.**

Retrouvées au quatorzième siècle par des navigateurs français, les îles Canaries furent conquises au quinzième siècle par les Espagnols. Mais pendant longtemps personne n'osa tenter l'ascension du volcan, dont le sommet paraît d'autant plus élevé que son pied plonge dans la mer.

Les appréciations les plus étranges et les plus exagérées étaient

mises en avant sur l'estimation de sa hauteur. Selon Th. Nicols[1], elle n'était pas de moins de 15 lieues; Riccioli et Kircher l'estimèrent à dix milles italiens : en réalité, elle est de 3716^{m}.

Le premier récit d'ascension[2] que nous ayons rencontré est celui d'un voyage exécuté en 1652 par quelques « marchands considérables et hommes de grand crédit » : ils furent notablement frappés par l'influence de l'air raréfié :

Nous commençâmes à six heures du matin à faire l'ascension du Pic .... Quelques-uns de notre compagnie devinrent très-faibles et malades, et furent atteints de diarrhées, vomissements et tremblements fiévreux...... Un de nous se trouva mal, et ne put aller plus loin en avant. (P. 201.)

Le célèbre Robert Boyle[3] a recueilli un récit analogue, dans lequel l'action de l'air dilaté est, comme il arrive souvent pour les ascensions des volcans, confondue avec celle des émanations terrestres :

Je demandai un jour à un homme intelligent qui avait vécu plusieurs années à Ténériffe, s'il était monté au sommet du Pic, et ce qu'il avait éprouvé. Il me répondit qu'il y avait essayé, que plusieurs de ses compagnons avaient pu terminer l'ascension, mais que, quant à lui et quelques autres, l'air vif et les exhalations sulfureuses les rendirent si malades qu'ils les arrêtèrent beaucoup moins haut. L'effet de ces vapeurs était tel que sa peau devint jaune-pâle, et que ses cheveux furent décolorés. (P. 2039.)

Tous les voyageurs n'éprouvèrent pas les mêmes effets, et, suivant l'usage, ceux qui furent exempts de malaises se laissent entraîner à nier ce qu'ont rapporté leurs prédécesseurs moins heureux.

Edens[4], qui monta sur le Pic en 1715, s'exprime ainsi :

Ce qu'on a dit sur la difficulté de respirer au sommet du Pic semble erroné; nous y respirions aussi bien que dans le bas; nous y prîmes notre déjeuner. (P. 186.)

[1] « Au milieu d'icelle on voit une montagne grandement droite et ronde qu'ils appellent Pico de Teithe, dont la situation est telle : sa pointe est fort droite et contient en hauteur 15 grandes lieues, qui reviennent à plus de 45 milles anglais. » *Description des Canaries*, par l'Anglais Nicols ou Midnal; in *Traité de la navigation*, par Pierre Bergeron, préface des *Voyages faits en Asie dans les douzième, treizième, quatorzième et quinzième siècles*, t. I, p. 119. — La Haye, 1735.

[2] *A Relation of the Pico Ténériffe received from some considerable merchants and men worthy of credit, who went to the Top of it. — History of the Royal Society of London, by Th. Sprat*, 3e éd. — London, 1722, p. 200-213.

[3] *Philos. Transac.*, 12 sept. 1670. Vol. XXIX, p. 317-325, 1717.

[4] *An Account of a journey from the port of Oratava in the Island of Teneriff, to the Top of the Pic in August* 1715. *Mem. of the Royal Soc. of London*, 2e éd., vol. VI, p. 172-177. — London, 1745.

Le Père Feuillée[1], le 31 juillet 1724, fit l'ascension du Pic; il ne dit rien qui puisse nous intéresser.

G. Glas[2] fut moins favorisé :

Nous arrivâmes, dit-il en effet, au pied du pain de sucre..... Bien que sa longueur ne soit guère que d'un demi-mille, nous fûmes obligés de nous arrêter pour respirer, je crois, quarante fois, et quand nous fûmes arrivés au sommet, nous restâmes bien un quart d'heure avant de nous remettre (p. 255).

Il en fut de même des savants que Labillardière[3] avait emmenés dans son voyage à la recherche de la Pérouse :

Les citoyens Riche et Blavier, dit-il, avaient entrepris, un jour après nous, (Labillardière, qui fit l'ascension le 17 octobre 1791 ne parle d'aucune sensation fâcheuse), le voyage du Pic; mais ces deux naturalistes n'eurent pas le plaisir de monter jusqu'au sommet; ils en étaient encore bien éloignés lorsque, leurs poumons ne pouvant s'accoutumer d'un air trop raréfié, ils crachèrent le sang et furent obligés de renoncer à leur entreprise (T. I, p. 27).

Il est vrai que, selon Bory Saint-Vincent[4],

Riche avait une très-faible santé et une fort mauvaise poitrine.... Il est mort des suites de son voyage, peu après son retour en France. (P. 182.)

De Humboldt[5] (ascension du 21 juin 1799) ne dit absolument rien des troubles physiologiques.

Le célèbre géologue Cordier[6], qui monta sur le Pic, le 16 avril 1803, s'occupe de ces troubles, mais pour les nier ou à peu près :

Ce qu'on a dit de la vivacité du froid, ... et de la difficulté de respirer sur le Pic, n'est pas exact. Au reste, j'ai déjà éprouvé plusieurs fois que l'opinion généralement reçue à cet égard est plus qu'exagérée; je vous assure que le froid était très-supportable..... que la rareté de l'air ne nous incommodait nullement, quoiqu'elle nous eût forcé à faire des poses assez fréquentes en approchant du sommet. (P. 61).

L'illustre Léopold de Buch, dans le récit de ses ascensions du

[1] Mém. acad. des sciences de Paris pour 1746, p. 140-142.

[2] *The History of the Discovery and Conquest of the Canary Islands.* — London, 1764.

[3] *Relation d'un voyage à la recherche de la Pérouse*, fait par ordre de l'Assemblée constituante, pendant les années 1791-1792 et pendant la première et la deuxième année de la République française. — Paris, an VIII.

[4] *Essais sur les isles Fortunées et l'antique Atlantide.* — Paris, germinal an XI.

[5] *Voyage aux régions équinoxiales du nouveau continent*, t. I, p. 123-145. — Paris, 1814.

[6] *Lettre au citoyen Devilliers fils. — Journal de phys., de chim. et d'hist. nat.*, t. LVII, p. 55-63; 1803.

18 et du 27 mai 1815[1], ne leur donne pas une place plus importante :

La montée devient plus difficile depuis l'*Estancia de los Ingleses*.... Malgré cela, les difficultés ne sont pas comparables à celles d'une ascension à la cime de l'un des pics couverts de neige des Alpes........ Arrivés au cratère, nous vîmes tout à coup paraître vis-à-vis de nous Mme Hammond, écossaise, avec ses compagnons de voyage. C'était la première femme qui fût jamais montée jusqu'à cette cime (P. 4).
Le 27 mai nous montâmes de nouveau au Pic (P. 5).

La narration de Dumont d'Urville[2] est très-intéressante dans sa brièveté. Il passa la nuit, en juin 1826, à l'*Estancia de los Ingleses :*

L'air était très-pur, dit-il, je n'éprouvai aucun de ces violents malaises et de ces suffocations ressenties par divers voyageurs. M. Quoy seul souffrit des maux d'estomac, et M. Gaimard dormit toute la nuit sans rien éprouver...... Le lendemain, en approchant du *Pain-de-Sucre,* nous étions fréquemment obligés de faire halte pour reprendre haleine.... Nous déjeunâmes avec gaieté à la cime du Piton. (P. 37).

Lors de son second voyage, en octobre 1837, les officiers de l'*Astrolabe* et de la *Zélée* firent l'ascension du Pic. Dumont d'Urville[3] rend compte en ces termes de leurs sensations :

Conformément à mes observations en 1826, MM. Dumoulin et Coupvent ont remarqué..... l'engourdissement des extrémités du corps. Durant la nuit, le thermomètre est descendu à — 0,5. MM. Dubouzet, Dumoulin et Coupvent ont ressenti des maux de tête assez prononcés, surtout ce dernier (P. 32).

Le chirurgien le Guillou[4], en rendant compte de la même ascension, dit :

Plusieurs de nos camarades se virent sujets à un singulier phénomène : ils saignèrent copieusement du nez, et nous fûmes forcés de faire halte quelques instants. (P. 29.)

Le 18 septembre 1842, ascension de M. Charles Sainte-Claire Deville[5] ; il ne dit pas un mot des troubles physiologiques.

Itier[6], qui monta sur le Pic le 28 décembre 1843, attache plus

[1] *Description physique des îles Canaries*. Trad. Boulanger. — Paris, 1836.
[2] *Voyage de l'Astrolabe,* exécuté pendant les années 1826-27-28-29. *Histoire du Voyage,* t. I; Paris, 1830.
[3] *Voyage au Pôle Sud,* t. I. — Paris, 1841.
[4] Voyage autour du monde de l'*Astrolabe* et de la *Zélée,* sous les ordres de Dumont d'Urville. Paris, 1842.
[5] *Voyage géologique aux Antilles et aux îles de Ténériffe et de Fogo.*— Paris, 1848 ; t. I, p. 65-79.
[6] *Journal d'un voyage en Chine* en 1843, 1844, 1845, 1846. — Paris, 1848, 3 vol.

d'importance que ses prédécesseurs aux souffrances qu'il éprouva :

Nous quittions l'Estancia d'Ariba (3104m), et nous gravissions à pied l'espèce de sentier qui serpente entre deux coulées d'obsidienne; la marche est pénible dans ces fragments de pierre ponce mêlés de cendres qui cèdent sous le pied; d'ailleurs le soleil commence à devenir incommode, et l'effet de la raréfaction de l'air ne tarde pas à s'ajouter à la fatigue de nos efforts. Mon cœur bat violemment dans ma poitrine, et les artères de mon cerveau prennent part à ce mouvement désordonné; la douleur de tête qu'il occasionne m'oblige souvent à m'arrêter ; mon compagnon, moins habitué que moi aux montagnes, subit bien plus fortement encore l'influence de cette situation ; il s'arrête tous les dix pas suffoqué, anéanti. (T. I, p. 28).

Je citerai, enfin, la narration que reproduit, d'après les notes d'un voyageur, madame Elizabeth Murray, artiste anglais[1], d'une ascension du Pic, faite en août, par quatre Anglais et un Américain :

Nous établîmes notre bivouac, pour passer la nuit, à la *Estancia de los Ingleses*, à 9933 pieds de hauteur. (T. II, p. 120.). . . . .

Un des nôtres fut pris de faiblesse extrême, de frissons et de violentes douleurs de tête ; nous le couvrîmes avec des couvertures, nous allumâmes un bon feu, et la chaleur, jointe à l'administration de quelques spiritueux, le remit en partie. (P. 121.) . . . .

Il se faisait tard, et nous nous étendîmes sur le sol, enveloppés dans nos couvertures. Peu de temps après, mon compagnon de droite se leva et se plaignit vivement de froid extrême, de douleurs, de malaises d'estomac. Nous le mîmes près du feu, et lui donnâmes de l'eau et de l'eau-de-vie chaude.

Il commençait à nous permettre de nous reposer, quand mon voisin de gauche fut attaqué, puis traité de la même manière. Tous deux éprouvèrent à un haut degré les inconvénients connus des voyageurs en mer ; ces accidents ne sont pas rares sur le Pic ; on les attribue quelquefois aux exhalaisons sulfureuses, mais je pense qu'ils sont plutôt causés par la rareté de l'air. En tous cas, nous ne sentions aucune odeur de soufre.

De nous quatre, mon ami l'Américain et moi furent les seuls qui n'éprouvèrent rien. (P. 123.) . . . .

Avant d'arriver à la Rambleta (11680p), beaucoup d'entre nous souffrirent plus ou moins de la difficulté de respirer. Un de mes compagnons, en particulier, ne pouvait faire plus de huit à dix pas sans s'arrêter, nous forçant ainsi à l'attendre. (P. 126.). . . . .

Après un grand nombre de haltes nécessaires pour reprendre notre respiration, nous arrivâmes au sommet. (P. 128.) . . . .

Nous repassâmes par « le Mal Païs », dont la descente fut aussi désagréable que la montée, avec cette différence que notre respiration était beaucoup plus libre. (P. 136.)

En résumé, le Pic de Téneriffe est, comme l'Etna, une montagne *limite*, dans l'ascension de laquelle beaucoup de voyageurs n'éprou-

[1] *Sixteen years of an artist's life in Marocco, Spain, and the Canary Islands* 2 vol. London, 1859.

vent rien de notable, ceux qui sont malades ne l'étant qu'à un faible degré.

§ 5. — Alpes.

Ce n'est qu'à la fin du siècle dernier que des ascensions furent faites dans les Alpes, à des hauteurs suffisantes pour amener des troubles physiologiques. Jusqu'au chanoine Bourrit et à l'illustre de Saussure, à peine quelques chasseurs de chamois s'étaient-ils aventurés au-delà des limites de la neige perpétuelle. Le massif du mont Blanc, aujourd'hui sillonné en tous sens, chaque année, par des centaines de touristes, portait le nom significatif de monts Maudits; au dix-septième siècle, l'évêque d'Annecy, Jean d'Aranthon[1], vint en exorciser les glacières, qui se retirèrent docilement après sa bénédiction. Des sommets rivaux du mont Rose, de la Jungfrau, il n'était nulle question. Les cols principaux étaient fréquentés depuis l'antiquité romaine; bien des armées les avaient traversés; l'hospice du grand Saint-Bernard était fondé depuis la fin du dixième siècle, mais personne n'avait songé à risquer sa vie dans l'ascension d'un des innombrables sommets qui dominent les belles vallées alpestres: en 1740, les premiers Anglais arrivent au Montanvert!

Cependant, on n'ignorait pas que les voyageurs souffraient parfois, dans la traversée des Alpes, d'accidents pulmonaires. Haller s'en occupe, comme nous le verrons au chapitre consacré à l'exposition des explications théoriques; il parle même d'hémoptysies observées par Scheuchzer : « ut in primis in J. Sch. triste exemplum exstat[2]. » Je n'ai pu me procurer le travail de ce géographe allemand[3]; mais d'après Meyer-Ahrens[4], il n'aurait éprouvé que de l'oppression et des menaces (Vorboten) d'hémorrhagie.

Le premier voyageur qui nous ait rendu compte d'impressions personnelles fâcheuses, le second qui ait fait l'ascension, aujourd'hui si vulgaire, du Buet (3110^{m}) est le chanoine Bourrit[5]. A cette hauteur médiocre, il éprouva de curieux accidents :

En 1776, je partis de Genève dans le dessein de monter sur le Buet: c'était la

[1] *Vie de Jean d'Aranthon d'Alex, évêque de 1660 à 1695*; Lyon, 1767. — Citée dans le *Guide-itinéraire du Mont-Blanc*, de V. Payot. — Genève, 1869; p. 161.

[2] *Elementa physiologiæ*, t. III, p. 197. — Lauzanne, 1761.

[3] *Disquisitiones physicæ de meteoris aqueis. Pars prima. Tiguri.* 1786.

[4] *Die Bergkrankheit.* — Leipzig, 1854, p. 71.

[5] *Nouvelle description des glacières et glaciers des Alpes*, 2e éd. — Genève, 3 vol.; 1785.

deuxième fois que j'allais sur cette montagne;... j'avais le corps bien disposé.... Nous arrivâmes sur le sommet tous trois bien portants.... Après dix minutes d'une station tranquille, je me sens un engourdissement aux bras, aux jambes, bientôt je n'ai pas la force de me tirer moi-même de cet état; et j'étais déjà sans connaissance, lorsque mes compagnons m'en arrachèrent ; ils me descendirent jusqu'aux premières roches du glacier....

L'année suivante,.... j'y arrive par le plus beau temps;.... je me mets à dessiner, et charge mon guide du soin de me couvrir de mon parasol. Au bout de 15 minutes, j'aperçus qu'il le tenait fort mal;.... qu'on juge de ma surprise en voyant cet homme aussi blanc que la neige.... et les yeux presque sans mouvement; je n'eus rien de plus pressé que de le tirer de ce sommet si funeste....... Enfin, en 1777,... M. Saint-Ours.... fut témoin d'un semblable accident sur le sommet du Buet.... (T. II, p. 94.)

Bourrit paraît du reste avoir été fort sujet aux syncopes; il en rapporte deux autres, l'une sur le glacier même du Buet, en marchant (t. III, p. 198), l'autre dans sa tentative pour monter au mont Blanc, le 11 septembre 1784 (t. III, p. 300 et 304).

A une hauteur moindre encore, au couvent du grand Saint-Bernard (2430^{m}), un voyageur du même temps, Laborde, éprouvait des accidents analogues, bien que notablement moins intenses :

Le ciel était pur lorsque nous arrivâmes tout-à-fait au couvent du grand Saint-Bernard (30 juillet 1777).

Il serait difficile d'exprimer les diverses sensations qu'on éprouve à la fois; la première qui se fait démêler est un saisissement occasionné par une gène dans la respiration; il semblait que les poumons n'avaient pas leur élasticité ordinaire et manquaient de capacité pour contenir l'air aspiré : la différence de celui qu'on respire à une pareille hauteur doit être très-sensible pour ceux qui ne sont accoutumés qu'à l'air des plaines, il y est plus raréfié et plus pur parce qu'il est moins chargé de vapeurs, (Discours sur l'histoire naturelle de la Suisse, p. VIII).

Ces quelques citations nous amènent aux célèbres récits de de Saussure; les souffrances éprouvées à des hauteurs bien faibles à côté de ce mont Blanc, dont il osa tenter et opérer l'escalade, font encore ressortir l'intrépidité qu'il dut déployer dans cette hardie entreprise. Le chanoine Bourrit, en déclarant, comme nous le verrons au chapitre III, qu'il serait difficile, pour ne pas dire impossible, de vivre longtemps au sommet du mont Blanc, n'avait fait que traduire, sous une forme un peu adoucie, une opinion universellement répandue parmi les montagnards.

De Saussure, lorsqu'il exécuta l'ascension du mont Blanc, y était préparé par de nombreuses courses faites, chaque année, dans les

[1] *Tableaux topographiques, etc..... de la Suisse*, t. I. — Paris, 1780.

hautes montagnes. Or, à des hauteurs assez médiocres, il avait déjà éprouvé des accidents qui avaient attiré son attention. Dans le récit de son ascension du Buet, faite le 13 juillet 1778 en compagnie de Pictet, il en donne[1] une indication très-nette :

La rareté de l'air, dès que l'on passe la hauteur de treize à quatorze cents toises au-dessus de la mer, produit sur nos corps des effets très-remarquables.

L'un de ces effets, c'est que les forces musculaires s'épuisent avec une extrême promptitude (t. I, p. 482). . . . .

Un autre effet de cet air subtil, c'est l'assoupissement qu'il produit. Dès qu'on s'est reposé pendant quelques instants à ces grandes hauteurs, on sent, comme je l'ai dit, les forces entièrement réparées ; l'impression des fatigues précédentes semble même totalement effacée ; cependant on voit, en peu d'instants, tous ceux qui ne sont pas occupés s'endormir, malgré le vent, le froid, le soleil, et souvent dans des attitudes très-incommodes. La fatigue sans doute, même dans les plaines, provoque le sommeil ; mais non pas avec tant de promptitude, surtout lorsqu'elle semble absolument dissipée, comme elle paraît l'être sur les montagnes, dès que l'on a pris quelques moments de repos.

Ces effets de la subtilité de l'air m'ont paru très-universels ; quelques personnes y sont moins sujettes, les habitants des Alpes par exemple, habitués à vivre et à agir dans cet air subtil, en paraissent moins affectés ; mais ils n'échappent point entièrement à son action. On voit les guides, qui dans le bas des montagnes peuvent monter des heures de suite sans s'arrêter, être forcés à reprendre haleine à tous les cent ou deux cents pas, dès qu'ils sont à la hauteur de quatorze ou quinze cents toises, et dès qu'ils s'arrêtent pendant quelques moments, on les voit aussi tomber dans le sommeil avec une promptitude étonnante. Un de nos guides, que nous faisions tenir debout au haut du Buet avec un parasol à la main, pour que le magnétomètre fût à l'ombre pendant que M. Trembley l'observait, s'endormait à chaque instant malgré les efforts que nous faisions et qu'il faisait lui-même pour combattre cet assoupissement. Et dans mon premier voyage au Buet, Pierre Simon, qui s'était fourré dans une crevasse de neige pour se mettre à l'abri d'une bise froide qui nous incommodait beaucoup, s'y endormit profondément.

Mais il y a des tempéraments que cette rareté de l'air affecte bien plus fortement encore. On voit des hommes, d'ailleurs très-vigoureux, saisis constamment à une certaine hauteur par des nausées, des vomissements et même des défaillances, suivis d'un sommeil presque léthargique. Et tous ces accidents cessent malgré la continuation de la fatigue, dès qu'en descendant ils ont regagné un air plus dense.

Heureusement pour le progrès de la physique, M. Pictet n'est pas affecté à ce degré extrême par la subtilité de l'air, il l'est cependant plus que le commun des hommes ; car, quoiqu'il soit très-fort, très-agile et bien exercé à grimper les montagnes, il se trouve toujours saisi d'une espèce d'angoisse, d'un léger mal de cœur et d'un dégoût absolu, dès qu'il arrive à la hauteur de 1400 toises au-dessus de la mer. Pour moi, je n'en ressens d'autre effet que d'être obligé de me reposer très-fréquemment, quand je monte des pentes rapides à ces grandes élévations. J'en faisais encore l'épreuve dans cette dernière course sur le Buet. Lorsque nous gravissions la pente couverte de neige ramollie, qui couronnait la montagne, je

[2] *Voyage dans les Alpes*, 4 vol. Genève ; 1786-1796.

ne pouvais absolument pas faire sans m'arrêter plus de cinquante pas de suite, et M. Pictet, plus sensible que moi à cet effet de la rareté de l'air, comptait les pas de son côté sans m'en rien dire, et trouvait qu'il ne pouvait pas en faire plus de quarante sans reprendre haleine (P. 483-85).

Mais cela n'était rien à côté de ce qu'il allait observer dans son voyage au mont Blanc. Déjà plusieurs tentatives avaient été faites pour atteindre au sommet de cette colossale montagne. De Saussure nous a conservé le récit de ces essais infructueux, et il est évident que les accidents physiologiques éprouvés par les auteurs de ces tentatives furent pour beaucoup dans leur échec :

§ 1103. En 1775, quatre guides de Chamounix tentèrent d'y parvenir par la montagne de la Côte..... Tout paraissait leur promettre le plus heureux succès;.... mais la réverbération du soleil sur la neige et la stagnation de l'air dans une grande vallée de neige qui semblait les conduire directement à la cime de la montagne, leur fit éprouver, à ce qu'ils ont dit, une chaleur suffocante, et leur donna en même temps un tel dégoût pour les provisions dont ils s'étaient munis, qu'excédés d'inanition et de lassitude, ils revinrent sur leurs pas. (T. II, p. 550.)

. . . .

§ 1104. En 1783, trois autres guides firent la même entreprise, par le même chemin. Ils allèrent passer la nuit au haut de la montagne de la Côte, traversèrent le glacier, et suivirent la même vallée de neige. Ils étaient déjà assez haut et marchaient courageuseusement en avant, lorsque l'un d'entre eux, le plus hardi et le plus robuste des trois, fut saisi presque subitement par une envie de dormir absolument insurmontable : il voulait que les deux autres le laissâssent et continuassent sans lui; mais ils ne purent pas se résoudre à l'abandonner et à le laisser dormir sur la neige, persuadés qu'il serait mort d'un coup de soleil ; ils renoncérent à leur entreprise et revinrent à Chamounix. Car ce besoin de sommeil, produit par la rareté de l'air, cessa, dès qu'en descendant, on l'eut ramené dans une atmosphère plus dense..... La chaleur les incommodait tous excessivement ; ils étaient sans appétit; le vin et les vivres qu'ils portaient n'avaient aucun attrait pour eux.

Le 13 septembre 1785, de Saussure lui-même tenta l'ascension avec M. Bourrit et son fils. Il alla coucher à la cabane (1422 toises) :

§ 1112. M. Bourrit et son fils, encore plus que lui, furent un peu incommodés par la rareté de l'air ; ils digérèrent mal leur dîner, et ne purent point souper. Pour moi, que l'air rare n'incommode point quand je ne fais dans cet air aucun exercice violent, je passai là une excellente nuit.

Le lendemain il s'éleva jusqu'à 1900^{t}; la neige l'arrêta.

Mais l'ascension du mont Blanc était devenue chez lui une idée dominante. L'année suivante, il chargea Pierre Balmat d'aller construire une cabane au pied de quelqu'une des crêtes de l'aiguille du Gouté, afin de s'y reposer pour chercher ensuite à monter au sommet du mont Blanc :

§ 1963. Pour exécuter ce projet, Pierre Balmat, Marie Coutet et un autre guide, le 9 juin 1786.... parvinrent, quoiqu'avec beaucoup de peine, au sommet de l'aiguille du Goûté, après avoir été tous excessivement malades de fatigue et de la rareté de l'air. (T. IV, p. 138).

C'est à la suite de cette course que Jacques Balmat, qui avait rejoint ses compatriotes et qui passa la nuit dans la montagne, trouva la route du mont Blanc par le Corridor :

§ 1965. Cette route avait déjà été tentée, mais on s'en était dégoûté par une singulière prévention. Comme elle suit une espèce de vallée entre des hauteurs, on s'était imaginé qu'elle était trop chaude et trop peu aérée..... La fatigue et la rareté de l'air donnèrent à ceux qui firent les premières tentatives cet accablement dont j'ai souvent parlé ; ils attribuèrent ce malaise à la chaleur et à la stagnation de l'air et ils ne cherchèrent plus à atteindre la cime que par des arêtes découvertes et isolées.

Les gens de Chamounix croyaient aussi que le sommeil serait mortel dans ces grandes hauteurs ; mais l'épreuve qu'en fit Jacques Balmat, en y passant la nuit, dissipa cette crainte. (T. IV, p. 140).

Il ne semble pas que le récit donné par de Saussure de la découverte de Jacques Balmat soit exactement véridique. L'illustre physicien génevois paraît avoir été induit en erreur par ses guides de prédilection, qui, jaloux de Balmat, attribuèrent au hasard ce qui était le fruit de longues et persévérantes recherches. Les intéressants travaux de M. Ch. Durier ont jeté quelque lumière sur ce point. Quoi qu'il en soit, le 10 juin 1786, Jacques Balmat, ayant trouvé la vraie route, après plusieurs nuits passées dans la montagne, redescendit presque mourant de fatigue et de froid à Chamounix. Soigné par le docteur Paccard, il lui fit part de sa découverte, et lui proposa d'en partager la gloire en faisant avec lui l'ascension. Paccard accepta, et le 9 août 1786, un pied humain foulait pour la première fois le sommet de la plus haute montagne de l'Europe. Le docteur Paccard avait été épuisé par la fatigue et sans doute aussi par la raréfaction de l'air, au point de rester couché en route : Balmat monta seul, puis il retourna chercher son compagnon, le porta à demi jusqu'à la cime, et le redescendit aveuglé par les neiges.

Je n'ai malheureusement pu me procurer de récit authentique de cette ascension mémorable. Celui d'Alexandre Dumas (*Impressions de voyage en Suisse*, chap. X), beaucoup moins inexact qu'on ne le supposerait, ne peut cependant faire foi en matière physiologique. Mais ce qu'on a dit et écrit sur ce voyage montre

que les deux compagnons, le docteur Paccard surtout, souffrirent vivement de la raréfaction de l'air.

A la nouvelle de la réussite, de Saussure, qui avait promis une prime à qui trouverait le vrai chemin, tout en espérant bien s'en servir le premier, se hâta d'organiser une expédition nouvelle. Mais jugeant la saison trop avancée, il dut remettre à l'année suivante la réalisation d'un désir qui le passionnait depuis tant d'années.

C'est le 1er août 1787 qu'il quitta Chamounix, accompagné d'un domestique et de dix-huit guides. Il alla coucher sous la tente au sommet de la montagne de la Côte.

Le soir du second jour de l'ascension, il est arrivé au petit plateau : la hauteur barométrique est de 17 pouces 10 lignes. Ils s'installent pour passer la nuit (1995 toises)[1] :

§ 1962. Là, dit de Saussure, mes guides se mirent d'abord à examiner la place dans laquelle nous devions passer la nuit ; mais ils sentirent bien vite l'effet de la rareté de l'air. Ces hommes robustes, pour qui sept ou huit heures de marche que nous venions de faire ne sont absolument rien, n'avaient pas soulevé cinq ou six pelletées de neige, qu'ils se trouvaient dans l'impossibilité de continuer ; il fallait qu'ils se relayassent d'un moment à l'autre. . . . .

Moi-même, qui suis si accoutumé à l'air des montagnes, qui me porte mieux dans cet air que dans celui de la plaine, j'étais épuisé de fatigue en observant mes instruments de météorologie. (T. IV, p. 144.)

Le lendemain ils continuent à monter, et arrivent « au rocher qui forme l'épaule gauche de la cime du mont Blanc » :

§ 1985. En commençant cette montée, j'étais déja bien essouflé par la rareté de l'air..... Le genre de fatigue qui résulte de la rareté de l'air est absolument insurmontable ; quand elle est à son comble, le péril le plus éminent ne vous ferait pas faire un seul pas de plus. (P. 165.) . . . .

Bientôt, ils ne sont plus qu'à 150 toises, en hauteur, du sommet du mont Blanc :

§ 1988. J'espérais donc atteindre la cime en moins de trois quarts d'heure ; mais la rareté de l'air me préparait des difficultés plus grandes que je n'aurais pu le croire. Sur la fin j'étais obligé de reprendre haleine à tous les quinze ou seize pas : je le faisais le plus souvent debout, appuyé sur mon bâton, mais à peu près de trois fois l'une il fallait m'asseoir. Ce besoin de repos était absolument invincible ; si j'essayais de le surmonter, mes jambes me refusaient leur service, je sentais un commencement de défaillance, et j'étais saisi par des éblouissements tout à fait indépendants de l'action de la lumière, puisque le crêpe double qui me couvrait le visage,

[1] La hauteur exacte est 3655 mètres.

me garantissait parfaitement les yeux. Comme c'était avec un vif regret que je voyais ainsi passer le temps que j'espérais consacrer sur la cime à mes expériences, je fis diverses épreuves pour abréger ce repos ; j'essayais par exemple de ne point aller au terme de mes forces, et de m'arrêter un instant à tous les quatre ou cinq pas, mais je n'y gagnais rien; j'étais obligé, au bout de quinze ou seize pas, de prendre un repos aussi long que si je les avais fait de suite ; il y avait même ceci de remarquable, c'est que le plus grand malaise ne se fait sentir que huit ou dix secondes après qu'on a cessé de marcher. La seule chose qui me fit du bien et qui augmentait mes forces, c'était l'air frais du vent du nord ; lorsqu'en montant j'avais le visage tourné de ce côté là, et que j'avalais à grands traits l'air qui en venait, je pouvais sans m'arrêter faire jusqu'à vingt-cinq ou vingt-six pas. (P. 171.)

Enfin, la cime la plus élevée est atteinte :

§ 1991. — Il fallait maintenant faire les observations et les expériences, qu seules donnaient quelque prix à ce voyage ; et je craignais infiniment de ne pouvoir faire qu'une petite partie de ce que j'avais projeté. Car j'avais déjà éprouvé, même sur le plateau où nous avions couché, que toute observation faite avec soin fatigue dans cet air rare, et cela parce que, sans y penser, *on retient son souffle ;* et que comme il fallait là suppléer à la rareté de l'air par la fréquence des inspirations, cette suspension causait un malaise sensible ; j'étais obligé de me reposer et de souffler, après avoir observé un instrument quelconque comme après avoir fait une montée rapide (p. 175).

Ce que de Saussure avait prévu arriva :

§ 1965. Quand il fallut me mettre à disposer les instruments et à les observer, je me trouvai à chaque instant obligé d'interrompre mon travail, pour ne m'occuper que du soin de respirer. . . . .

Lorsque je demeurais parfaitement tranquille, je n'éprouvais qu'un peu de malaise, une légère disposition au mal de cœur.

Mais lorsque je prenais de la peine, ou que je fixais mon attention pendant quelques moments de suite, et surtout lorsqu'en me baissant je comprimais ma poitrine, il fallait me reposer et haleter pendant deux ou trois minutes. Mes guides éprouvaient des sensations analogues. Ils n'avaient aucun appétit. (P. 147).

. . . .

§ 2021. — Quelques-uns ne purent supporter tous ces genres de souffrances, et descendirent les premiers pour regagner un air plus doux (P. 208).

Plus loin, de Saussure fait une remarque très-juste, qui explique bien des exagérations et bien des incrédulités :

§ 2021. — J'ai observé un fait assez curieux, c'est qu'il y a pour quelques individus des limites parfaitement tranchées, où la rareté de l'air devient pour eux absolument insupportable. J'ai souvent conduit avec moi des paysans, d'ailleurs très-robustes, qui à une certaine hauteur se trouvaient tout d'un coup incommodés au point de ne pouvoir absolument pas monter plus haut ; et ni le repos, ni les cordiaux, ni le désir le plus vif d'atteindre la cime de la montagne, ne pouvaient leur faire passer cette limite. Ils étaient saisis, les uns de palpitations, d'autres de vomissements, d'autres de défaillance, d'autres d'une violente fièvre, et

tous ces accidents disparaissaient au moment où ils respiraient un air plus dense. J'en ai vu, quoique rarement, que ces indispositions obligeaient à s'arrêter, à huit cents toises au-dessus de la mer; d'autres à douze cents, plusieurs à quinze ou seize cents; pour moi, de même que la plupart des habitants des Alpes, je ne commence à être sensiblement affecté qu'à dix-neuf cents toises; mais au-dessus de ce terme, les hommes les plus exercés commençent à souffrir lorsqu'ils se donnent un mouvement un peu accéléré (P. 209).

Enfin, il faut redescendre : de onze heures à trois heures et demie, de Saussure est resté sur la cime, et il a regret de partir, parce que, dit-il, et j'appelle toute l'attention du lecteur sur cette remarque d'une haute importance :

§ 2021. — Quoique je n'aie pas perdu un seul moment, je ne pus pas faire, dans ces quatre heures et demie, toutes les expériences que j'avais fréquemment achevées en moins de trois heures au bord de la mer.......

Mais je conservais l'espérance bien fondée d'achever, sur le col du Géant, ce que je n'avais pas fait, et *que vraisemblablement l'on ne fera jamais*, sur le mont Blanc. (P. 210).

La descente s'accomplit heureusement et sans grande fatigue :

Comme le mouvement que l'on fait en descendant *ne comprime point le diaphragme*, il ne gêne point la respiration, et l'on ne souffre point de la rareté de l'air.

L'exemple de l'illustre physicien ne tarda pas à être suivi. Sept jours après sa célèbre ascension, le colonel anglais Beaufoy[1] atteignait à son tour le sommet du géant des Alpes. Ce ne fut pas sans de vives souffrances, comme le prouvent les extraits suivants de son récit.

Parti de Chamounix le 8 août 1787, il alla coucher, avec ses dix guides, à la hutte bâtie en 1786 par les ordres et aux frais de M. de Saussure. Le premier phénomène physiologique que signale le colonel est la soif :

La soif, depuis que nous étions arrivés dans les régions supérieures de l'air, était devenue insupportable. A peine avais-je bu que ma bouche était séche.... Bien que buvant continuellement, la quantité de mon urine était minime ; sa couleur était très-foncée. Les guides étaient également affectés ; ils ne voulaient pas goûter de vin . . . .

La rareté de l'air commença bientôt à me donner un violent mal de tête; j'éprouvai aussi, à ma grande surprise, une sensation aiguë de douleur, juste au-dessus des genoux. . . . .

[1] *Narrative of a journey from the village of Chamouni, in Switzerland, to the summit of mount Blanc, undertaken on Aug.* 8, 1787. *Thomson's Annals of Philosophy*, vol. IX, p. 97-103; 1817.

Arrivés à 150 fathoms (270 mètres) du sommet, les pernicieux effets de la rareté de l'air étaient évidents chez nous tous ; une envie de dormir, presque irrésistible, nous dominait. Mon énergie m'avait abandonné; indifférent à tout événement, je ne pensais qu'à me coucher à terre ; d'autres fois, je me blâmais de cette expédition, et, arrivé presque au sommet, je songeais à redescendre, sans le faire cependant. Beaucoup d'entre mes guides étaient dans la plus triste situation; épuisés par des vomissements excessifs, ils semblaient avoir perdu la force du corps avec celle de l'esprit. Mais la honte vint à notre secours. Je bus la dernière pinte d'eau, et me trouvai rafraichi. Cependant la douleur de mes genoux avait tellement augmenté, que tous les 20 ou 30 pas j'étais obligé de m'arrêter jusqu'à ce que son acuité fût calmée. Mes poumons faisaient avec peine leur office, et mon cœur battait dans de violentes palpitations. A la fin, cependant, mais avec une sorte d'apathie qui excluait la joie, nous atteignîmes le sommet. Six de mes guides et mes domestiques se jetèrent aussitôt la face contre terre et s'endormirent. J'enviais leur repos.

Le colonel souffrit beaucoup de la réverbération du soleil sur la neige; il n'avait ni crêpe ni lunettes.

Quelques semaines plus tard, de Saussure, dans son ascension du mont Cenis, le 28 septembre 1787, fit encore, au point de vue physiologique, des remarques fort intéressantes :

§ 1280. — A notre départ de la cime, où nous nous étions arrêtés pendant deux heures, je comptai avec la montre à seconde le nombre des pulsations des artères de tous ceux qui composaient notre petite caravane, et je le comptai de nouveau à notre arrivée à la poste du mont Cenis :

J.-B. Borot, guide,	en haut	112,	en bas	100	
B. Boch, id.	—	112	—	96	
J. Tour, id.	—	80	—	88	
Têtu, mon domestique	—	104	—	100	
Mon fils	—	108	—	108	
Moi	—	112	—	100	
	Moyenne	104 2/3			98 2/3

On voit que Joseph Tour fut le seul qui eût le pouls plus fréquent au bas de la montagne qu'en haut ; que, pour mon fils, le nombre fut le même, et que les quatre autres l'eurent plus fréquent sur la cime, en sorte que la moyenne donne six pulsations par minute de plus en haut qu'en bas, pour une différence d'environ 4 pouces 2 lignes dans la hauteur du baromètre. Il y a même ceci à observer, c'est que je comptai les pulsations sur la montagne, après un séjour qui équivalait à un repos de deux heures au moins pour les guides ; au lieu que dans la plaine, comme ils voulaient se retirer, je fus obligé de les compter quelques minutes après notre arrivée.

Ce qu'il y a encore plus remarquable, c'est qu'en séparant ceux qui avaient eu mal au cœur (trois des quatre guides, dont de Saussure ne dit pas le nom, faillirent se trouver mal au sommet) de ceux qui étaient demeurés bien portants, je trouve que la différence moyenne fut de 9 1/3 pour les premiers, et seulement de 2 2/3

pour les seconds. Cette observation confirme bien ce que j'ai toujours cru, c'est que cette incommodité tient en partie à une espèce de fièvre, produite par la fréquence de la respiration, qui accélère la circulation du sang. Et quant à moi, si mon pouls fut de douze pulsations plus fréquent en haut qu'en bas, quoique je n'eusse éprouvé aucune incommodité, c'est que je ne me reposai pas un seul moment ; je fus pendant ces deux heures dans une action continuelle ; si je m'étais reposé comme les malades, je ne doute pas que mon pouls n'eût baissé de plusieurs pulsations. (T. III, p. 85.)

L'année suivante, il s'en alla séjourner, en compagnie de son fils, sur le col du Géant (3360^{m}) du 3 juillet au 19 juillet 1788; ce voyage, qui frappa les guides de terreur, fut entrepris dans le but de tenter des expériences que, sur le mont Blanc, « la brièveté du temps et le malaise produit par la rareté de l'air m'empêchèrent d'exécuter. » (T. IV, p. 217.) Tout un chapitre fort curieux y est consacré aux *Observations relatives à la physiologie :*

§ 2105. — Il était intéressant d'observer quel serait sur nos corps l'effet d'un séjour prolongé dans un air aussi raréfié que celui que nous respirions sur le Col du Géant. Il faut se rappeler que la hauteur moyenne du baromètre fut, pendant notre séjour, d'environ 19 pouces, c'est-à-dire de 9 pouces plus bas qu'au bord de la mer, et qu'ainsi la densité de l'air était là de près d'un tiers plus petite.

M. Odier, docteur en médecine, très-zélé pour les progrès de son art, m'avait donné quelques questions qui devaient servir de texte à mes observations.

§ 2106. — *Déterminer avec précision le degré de chaleur animale.* Dans la matinée du 17, dans un moment où j'étais bien tranquille, et sans m'être donné aucun mouvement violent, je plaçai sous ma langue un petit thermomètre de mercure en tenant la bouche fermée, et j'observai en même temps ce thermomètre avec une loupe ; je le trouvai à 29 1/2, et c'était aussi dans les mêmes circonstances le même degré dans la plaine.

Compter le nombre d'inspirations et d'expirations qu'un homme bien tranquille et non prévenu peut faire dans une minute, ainsi que le rapport de ce nombre à celui des pulsations du pouls. Dans les mêmes circonstances que celles du paragraphe précédent, je trouvai d'abord 75 pulsations pour chaque inspiration et autant pour chaque expiration. Mais une autre fois, en prenant un plus grand nombre, et qui par cela même méritait une plus grande confiance, je trouvai que je faisais 10 inspirations et expirations en 35 secondes, ce qui revient à 17 par minute, et que mon pouls faisait 79 pulsations aussi dans une minute.

§ 2107. — *Essayer de faire inspirer assez profondément pour arrêter le pouls du poignet gauche, en supposant que le même individu puisse le faire dans la plaine.*

Le 19, en me levant, et assis sur mon matelas, j'ai réussi à arrêter le pouls du poignet gauche, en prolongeant pendant dix secondes l'inspiration ; sur-le-champ je répétai l'épreuve, et le pouls s'arrêta à la quinzième seconde ; la troisième fois, à la trente-cinquième seconde, le pouls résistait encore, lorsque je fus forcé de reprendre haleine. En faisant la même épreuve debout, je ne pus point arrêter le pouls ; mais il est vrai que je ne pus prolonger l'inspiration que

pendant 32 secondes. Cette épreuve ne paraît donc pas, au moins pour moi, susceptible d'une comparaison régulière.

§ 2108. — *Compter le pouls dans une situation parfaitement verticale; si la différence est plus grande que dans la plaine, c'est une preuve que l'air des hautes montagnes augmente l'irritabilité du cœur.*

Le 18 juillet, dans l'après-midi, après avoir fait à terre sur mon matelas un petit sommeil, dans une situation horizontale, je comptai dans cette même situation 83 pulsations par minute. Je me levai alors, et étant debout, j'en comptai 88 ; mais soupçonnant que l'effort que j'avais fait en me levant de terre pouvait avoir contribué à cette accélération, je me reposai pendant quelques instants, et alors je ne comptai plus que 82 pulsations.

§ 2109. — *Déterminer par comparaison, si l'inspiration peut être aussi longtemps prolongée sur la montagne que dans la plaine.*

J'ai rapporté dans le § 2104 les essais que j'avais faits sur la montagne. J'oubliai ensuite de les répéter dans la plaine à mon retour, et dès lors mon tempérament a été si fort altéré par les fatigues et les maladies, que les épreuves comparatives que je pourrais faire ne donneraient aucune induction sur laquelle on pût compter.

Déterminer, s'il est possible comparativement, la proportion des urines à la boisson. Nous manquions des facilités nécessaires pour faire des comparaisons.

§ 2110. — *Vérifier surtout, si les effets de l'air raréfié se manifestent tout d'un coup ou graduellement.*

Il nous a paru que les effets généraux ont été à peu près les mêmes pendant toute la durée de notre séjour. En arrivant, nous nous trouvâmes tous plus essoufflés que nous ne l'aurions été après avoir fait dans la dernière matinée une montée égale à celle-là sur une montagne moins élevée. Les jours suivants, bien loin que l'incommodité allât en croissant, nos compagnons, de même que mon fils et moi, nous croyions nous être accoutumés à cet air : cependant, lorsque nous y faisions attention, et surtout lorsque nous faisions des essais dans ce but, nous trouvions que si l'on courait, si l'on se tenait dans une attitude gênée, et principalement dans une situation où la poitrine fût comprimée, on était beaucoup plus essoufflé que dans la plaine, et cela dans une progression croissante ; en sorte que, de moment en moment, il devenait plus difficile, et même enfin impossible de soutenir ces efforts.

§ 2111. — Comme nos observations nous obligeaient à nous tenir en plein air pendant presque tout le jour, j'avais recommandé à mon fils et à mon domestique d'avoir toujours, comme je le faisais moi-même, un crêpe sur le visage. Mon domestique crut pouvoir s'en passer, mais il lui survint une enflure de toute la face, et en particulier des lèvres, qui le rendait hideux, et qui fut même accompagnée de gerçures très-douloureuses. Cela fit penser à mon fils, que peut-être l'action du soleil produisait-elle un dégagement d'air qui occasionnait cette enflure.

Pour voir si cet air se manifesterait au dehors, il fit tenir à ce même jeune homme ses mains dans l'eau au soleil ; elles se couvrirent aussitôt de petites bulles ; on les essuya, puis, quand on les replongea dans l'eau, il reparut encore des bulles ; on les fit essuyer une seconde fois, et on les plongea pour la troisième fois ; mais alors on ne put plus apercevoir aucune bulle. Nous conclûmes de là, que les bulles que nous avions vues d'abord n'étaient que de l'air adhérant à la surface de la peau.

§ 2212. — Il nous parut qu'en général nous avions le genre nerveux plus irri-

table, que nous étions plus sujets à l'impatience, et même à des mouvements de colère; nous étions sensiblement plus altérés ; la faim paraissait plus inquiétante et plus impérieuse ; mais aussi nous étions beaucoup plus faciles à rassasier, et mes digestions paraissaient se faire plus promptement que dans la plaine. D'ailleurs, il nous semblait, à mon fils et à moi, que dans nos travaux et dans nos observations relatives à la physique, nous avions l'esprit sensiblement plus libre, plus actif et moins facile à fatiguer, je dirai même plus inventif, que dans la plaine, et je souhaiterais que nos lecteurs en trouvassent la preuve dans l'exposé de nos occupations pendant ces dix-sept jours (t. IV; p. 315-318).

Dans son voyage autour du mont Rose, il décrit aussi le malaise éprouvé par les animaux. Il était au 14 août 1789 sur le glacier du mont Cervin (glacier Saint-Théodule) :

§ 2220. — Les mulets, qui enfonçaient dans la neige jusqu'aux sangles, furent délivrés de leurs fardeaux; cependant ils avaient beaucoup de peine à avancer, ils étaient essoufflés, obligés de reprendre haleine, dès qu'ils avaient fait quelques pas. La pente n'était pourtant pas très-rapide, et les trois ou quatre heures de marche qu'ils avaient faites ne pouvaient pas les avoir fatigués.... mais c'était la rareté de l'air qui les affectait; ils éprouvaient tout ce que nous avions éprouvé en montant le mont Blanc.... La respiration de ces pauvres animaux était extrêmement pénible, et dans les moments mêmes où ils reprenaient haleine, on les voyait haleter avec tant d'angoisse, qu'ils poussaient une espèce de cri plaintif que je n'avais jamais entendu, même dans les plus grandes fatigues. Il est vrai que je n'avais jamais voyagé avec des mulets à une aussi grande élévation.... nous étions alors à 1,736 toises au-dessus de la mer. (T. IV, p. 380.)

Le chanoine Bourrit, dont les tentatives infructueuses avaient précédé l'expédition de de Saussure, fit en 1788, en compagnie de Woodley et de Camper, l'ascension du mont Blanc. Je n'ai pas trouvé de description complète de ce voyage. Mais nous lui devons quelques détails sur une expédition un peu postérieure, faite le 11 août 1802 par Forneret et Dortheren :

La rareté de l'air, dit-il [1], ajoutait à la difficulté de la marche ; leur poitrine était déchirée, et ils m'ont déclaré qu'aucun bien ne pourrait les engager à entreprendre de nouveau une semblable cause. (P. 431.)

Le 14 juillet 1809, première ascension du mont Blanc par une femme, Marie Paradis, servante à Chamounix. Elle fut tellement épuisée vers 4600^{m}, que les guides qui l'accompagnaient furent obligés de la soutenir et de la porter à la cime.

De 1809 à 1816, une seule ascension (Rodaz, 1812) sur laquelle on n'a point de renseignements.

[1] Lettre de M. Bourrit au rédacteur de la *Bibliothèque britannique*. — *Biblioth. brit. de Genève*, t. XX, p. 429-433; 1802.

Un officier allemand, le comte de Lusy, partit de Chamounix le 14 septembre 1816 pour monter au mont Blanc; il avait huit guides avec lui. J'emprunte à la brochure allemande de Hamel, que je vais citer tout à l'heure, n'ayant pu me procurer le récit de Lusy[1], l'indication des graves symptômes qui les atteignent :

Près du sommet, quelques-uns des voyageurs éprouvaient de fortes envies de dormir, et des nausées; trois saignaient du nez et un de la bouche; cela n'arrêta pas le comte Lusy (p. 36).

Le 4 août 1818, le comte Malazesky, Polonais[2], puis van Rensselaer, de New-York, le 11 juillet 1819, se lancèrent également dans cette difficile entreprise. La relation de ce dernier, bien qu'assez détaillée[3], ne contient l'indication d'aucun fait physiologique intéressant; ses compagnons et lui n'éprouvèrent qu'une grande accélération de la respiration et du pouls, avec perte de l'appétit.

Puis, en 1820, le docteur Hamel[4], conseiller de cour de S. M. l'empereur de toutes les Russies, exécute l'ascension en compagnie du colonel Anderson. Son voyage fut interrompu près du sommet par une catastrophe terrible, qui coûta la vie à trois guides, entraînés dans une avalanche.

Il fit d'abord, le 3 août, une tentative infructueuse :

Nous partîmes de Saint-Gervais et passâmes la nuit à Pierre-Ronde, à l'abri de quelques rochers.

Le lendemain, nous atteignîmes à 11 heures 1/2 au sommet du dôme du Goûté. . . . .

Ce fut dans cette marche de deux heures que j'éprouvai, pour la première fois, l'effet de l'air raréfié sur mes forces. Il m'était absolument impossible de faire plus de quarante pas sans m'arrêter environ deux minutes pour prendre haleine; et arrivé au sommet du Dôme (2,200 toises), je me sentis tellement épuisé, qu'il m'aurait fallu une demi-heure au moins de repos pour pouvoir continuer jusqu'à la cime du mont Blanc. Je trouvai, calcul fait, qu'il serait tout-à-fait impossible d'aller jusqu'au sommet et de redescendre les aiguilles du Goûté avant la nuit; je pris donc le parti de retourner sur mes pas. (P. 306.)

Le 16 août, il recommença l'ascension en partant cette fois de Chamounix. Les voyageurs, accompagnés de douze guides, passèrent la nuit aux Grands-Mulets. Malgré ses guides, qu'effrayait le

[1] *Voyage au Mont-Blanc.* — Wien, chez Gerold.

[2] *Bibliothèque universelle de Genève*, t. IX, p. 84-89, 1818.

[3] *Notice sur un voyage au sommet du mont Blanc, ibid*, t. XIV, p. 219-234, 1820.

[4] *Relation de deux tentatives récentes pour monter sur le mont Blanc.* — *Bibliothèque universelle de Genève*, t. XIV, p. 304-323; 1820. — Hamel a depuis publié un récit plus détaillé de son voyage, avec des notes historiques, sous le titre *Beschreibung zweier Reisen auf den Mont-Blanc.* — Wien, 1821.

mauvais état de la neige fraîchement tombée, Hamel voulut continuer sa route le lendemain ; à huit heures et demie du matin, ils cheminaient sur le dernier grand plateau :

Personne n'était indisposé. Cependant nous éprouvions déjà depuis quelque temps l'effet de la rareté de l'air ; mon pouls battait 128 pulsations par minute, et j'avais soif à chaque instant. Nos guides nous invitèrent à déjeuner ici, car, disaient-ils, plus haut on n'a plus d'appétit.... Chacun mangea avec plaisir son demi-poulet. . . . .

Nous étions arrivés à 2,500 toises[1] .... Personne ne parlait, car, à cette hauteur, la parole même fatigue, et l'air ne transporte que faiblement le son. J'étais encore le dernier, et je faisais jusqu'à douze pas de suite ; puis, appuyé sur mon bâton, je m'arrêtais pour faire quinze inspirations. Je trouvais que de cette manière je pouvais m'avancer sans m'épuiser. Muni de lunettes vertes et avec un crêpe devant le visage, mes yeux était fixés sur mes pas, que je comptais, lorsque tout-à-coup je sens la neige céder sous mes pieds.....

La nappe de neige tout entière se déroba sous les voyageurs, et trois des guides disparurent à tout jamais dans une immense crevasse.

Depuis cette funeste aventure, personne n'avait hasardé cette entreprise « périlleuse autant qu'inutile », quand F. Clissold la tenta de nouveau avec succès, le 18 août 1822. Il se contente, dans son premier récit assez succinct[2], de dire que tous les guides, excepté un, étaient « plus ou moins incommodés par la rareté de l'air ».

La relation détaillée qu'il publia plus tard[3] est beaucoup plus explicite ; elle contient même des idées théoriques fort remarquables que nous reproduirons en leur lieu.

Il est curieux d'avoir à constater que cet étranger, qui en était à son premier voyage dans les Alpes, supporta mieux la diminution de pression que les guides, qui presque tous étaient déjà montés au sommet du mont Blanc :

Nous n'étions pas loin des Grands-Mulets, dit-il, lorsque mon compagnon de corde se détacha lui-même, n'en pouvant plus d'épuisement. Je me fis attacher entre deux autres ; peu après, un second resta en arrière, et finalement tous, excepté Favret (un des 6 guides) et moi, furent forcés de s'arrêter par lassitude et par une difficulté de respirer qu'ils attribuaient à la rareté de l'air ; un peu de repos ne tarda pas à les remettre. Nous atteignîmes, à deux heures, le Grand-

[1] Hamel commet ici une erreur ; il était encore à 700 mètres environ du sommet (Lepileur).

[2] *Notice sur une nouvelle ascension au mont Blanc. Biblioth. univ. de Genève*, t. XXI, p. 68-75, 1822.

[3] *Détails d'une ascension au sommet du mont Blanc*, *Ibid*, t. XXIII, p. 137-155 et 237-244, 1823.

Plateau. Marie Coutet, qui respirait à peine (il était déjà monté cinq fois au mont Blanc), s'étonnait de mon bien-être (p. 146).

Ils couchèrent dans une petite excavation du *rocher Rouge* (4490^{m}) et souffrirent beaucoup du froid. Le lendemain, à l'aube, départ pour le sommet :

Favret et moi étions les seuls à notre aise, surtout pour la respiration. Quant aux autres, les uns s'étendaient à plat sur la neige, les autres s'arrêtaient debout, courbés en avant et la tête basse, trouvant plus de facilité à respirer dans cette attitude. J'ai éprouvé, pour ma part, bien plus de fatigue dans d'autres excursions et sur des montagnes bien moins élevées que je n'en ressentais en approchant du mont Blanc ; il est vrai que je marchais alors plus vite. Mon pouls s'élevait bien ici de 100 à 150 pulsations par minute, mais ma circulation s'accélère à ce degré toutes les fois que je gravis une pente rapide, en sorte qu'à tout prendre je n'éprouvais rien de particulier ou de nouveau pour moi (p. 149).

Le récit du voyage du docteur Clark et du capitaine Sherwill[1], renferme des détails pleins d'intérêt. Ils montèrent au mont Blanc le 25 août 1825 ; partis de Chamounix à sept heures du matin, ils arrivèrent le lendemain au sommet à trois heures cinq minutes :

Arrivés au Grand-Plateau, M. Clark était accablé, le capitaine Sherwill éprouvait beaucoup de nausées et de l'oppression.... Simon, l'un des guides, se plaignit de mal de tête....

Au sommet du mont Blanc, M. Clark éprouvait de la gêne dans la respiration, même lorsqu'il cessait tout mouvement. Il éprouvait dans la poitrine une sensation semblable à celle qui précède l'hémoptysie, maladie à laquelle il a été assez sujet dans sa jeunesse. Il ne crachait cependant pas de sang au sommet du mont Blanc. L'un de ses guides ayant accidentellement reçu un coup sur le nez perdit un peu de sang, qui parut d'une couleur plus noire qu'à l'ordinaire. M. Clark éprouvait, ainsi que le capitaine Sherwill, un violent mal de tête ; leurs visages étaient pâles et contractés. Le capitaine parla d'une singulière sensation qu'il avait éprouvée près du sommet : il lui semblait que son corps avait une élasticité et une légèreté extraordinaire, que ses pieds touchaient à peine terre. Les guides étaient, en général, très-fatigués et se plaignaient de mal de tête.

En 1827, le 24 juillet, nouvelle ascension, de Hawes et Fellowes[2], accompagnés de dix guides. Nuit passée aux Grands-Mulets (— 5°).

Pendant l'ascension du dôme du Goûté, on commença à ressentir les effets de la grande élévation, le mal de tête augmentait un peu et à mesure que l'on avançait ; les veines se gonflaient, le pouls était fort et rapide . . . .

A mille pieds du sommet, les voyageurs rendirent du sang par le nez et presque tout le monde en cracha ; ces accidents firent extraordinairement souf-

[1] D. Clark et C^{ne} Sherwill, *Quelques détails sur leur expédition au mont Blanc. Biblioth. univ. de Genève*, t. XXX, p. 245-246, 1825.

[2] *Ascension du mont Blanc en* 1827. *Nouv. ann. des voyages*, t. XL, p. 265-269, 1828.

frir M. Felowes, qui était très-délicat ; mais M. Hawes, de petite taille, fort et robuste, résista mieux. Leur respiration était singulièrement affectée ; ils ne pouvaient pas faire plus de six à huit pas sans s'arrêter. Deux guides, épuisés de fatigue, se trouvèrent indisposés et rendirent beaucoup de sang. D'ailleurs, tout le monde eut le visage gercé et perdit intérieurement du sang. Le froid était intense.....

A force de repos et de peu de durée, les voyageurs arrivèrent à 2 heures 20 m. sur la cime du mont Blanc. (P. 267.)

La même année, un voyageur écossais, Auldjo, fit, le 9 août, la même ascension. N'ayant pu me procurer le récit original qu'il en publia, j'en emprunte le résumé au travail de M. Lepileur, dont il sera bientôt question :

M. Auldjo dit n'avoir commencé à ressentir les effets de la raréfaction de l'air que vers 4,200 mètres ; il fut alors saisi d'oppression et de difficulté de respirer. Son pouls devint *fréquent* ; il éprouvait de la soif et *une plénitude des veines de la tête*, mais pas de mal de tête dans l'immobilité. La plupart de ses guides souffrirent de la même manière et au même degré. A mesure qu'il s'élevait, il était plus épuisé, l'oppression augmentait, un violent mal de tête s'y joignit, ainsi que de fortes palpitatious, une lassitude générale et une douleur dans le genou et les muscles de la cuisse, qui rendait le mouvement des jambes difficile. Vers 4,570^m, il éprouvait une forte envie de dormir, et se trouvait complétement épuisé, abattu et découragé ; il fallut que ses guides le forçassent à quitter les rochers des Petits-Mulets. Le reste de la montée fut extrêmement pénible pour lui ; on fut obligé de le hisser avec une corde le long de la dernière pente. Depuis le moment où il avait commencé à souffrir, il ne faisait, *ainsi que ses guides*, que quinze à vingt pas de suite. En gravissant les cent derniers mètres, le guide le plus robuste et le plus courageux, dit-il, était épuisé au bout de *trois ou quatre pas*, et obligé de s'arrêter pour reprendre haleine. Il souffrait beaucoup du froid du côté que ne frappait pas le soleil. Enfin, après avoir gravi avec un peu moins de malaise les vingt derniers mètres, il arriva à la cime, où il s'endormit aussitôt d'un profond sommeil. On le réveilla au bout d'un quart d'heure ; il était mieux, le mal de tête et la douleur des jambes avaient cessé, mais il ressentait du frisson et souffrait de la soif ; son pouls était *fréquent*, sa respiration difficile, quoique l'oppression eût diminué. Il ne put manger ; la vue et l'odeur des aliments lui donnaient des nausées... (P. 20).

Les excursions en montagne s'étaient multipliées ; ce n'était plus seulement au mont Blanc que s'adressaient les voyageurs, devenus des « touristes ».

Un suisse allemand, Meyer[1], qui publia le récit de ses excursions en 1812, a fixé son attention sur les troubles physiologiques ; il trouve qu'on les a beaucoup exagérés :

Tout ce que rapporte de Saussure, des effets de l'atmosphère dans les régions

[1] *Reise auf die Eisgebirge des kantons Bern und Ersteigung ihrer höchstergipfel in sommer* 1812. Aarau, 1815.

supérieures sur l'organisation animale, n'est pas généralement fondé ; il reste encore bien des choses qui sont hypothétiques. Ainsi, à une élévation absolue de 10 à 12,000 pieds et davantage, au-dessus de la mer, aucun de nous ne se trouva assoupi, ni dans un état fébrile violent, et n'éprouva des vomissements non plus que des défaillances, accidents sur lesquels ont beaucoup insisté quelques voyageurs qui sont parvenus sur de très-hautes sommités. . . . .

Qui pourrait disconvenir qu'en gravissant, les battements du pouls ne deviennent presque aussitôt deux fois plus fréquents qu'ils n'étaient auparavant ? Qu'on marche ensuite d'un pas mesuré, assez longtemps pour se remettre, et le pouls ne tardera pas à revenir au même degré de fréquence où il était dans la plaine ou dans les vallées.... J'ai eu occasion de remarquer que l'évanouissement d'un de nos guides près du sommet de la Jungfrau avait été provoqué en grande partie par les grands efforts qu'il fit pour monter, et en partie aussi, par la crainte que lui inspira le danger qu'il courait. Aucun de nous n'éprouva rien de semblable en redescendant (p. 30).

Notons l'évanouissement du guide, quelle qu'en soit l'explication donnée. Ajoutons qu'à de plus faibles hauteurs que celles atteintes par Meyer, un célèbre ascensionniste, le docteur Parrot, éprouva un phénomène singulier qu'il rapporte, il est vrai, à la chaleur, mais dans lequel la diminution de pression me paraît jouer un rôle considérable. Il raconte dans les termes suivants cet accident qui lui arriva le 18 septembre :

J'étais, dit-il, depuis deux heures sur le bord occidental du glacier de Lesa, à la hauteur de 3436m; la chaleur était telle, que mes yeux commencèrent à rougir, et que j'éprouvais une céphalalgie frontale avec un assoupissement et une fatigue tels, que j'avais la plus grande peine à observer convenablement mon baromètre ; je ne trouvai d'allégement à cet état qu'en me couchant à terre (P. 386).

C'est le 5 août 1819 qu'eut lieu la première ascension du mont Rose; elle fut exécutée par deux habitants d voisinage, Vincent, directeur des mines d'Indren, et Delapierre, inspecteur des forêts, plus connu sous la traduction allemande de son nom, Zumstein.

Dans le premier voyage, il n'est question d'aucun trouble physiologique. Mais le second, qui est rapporté avec détails dans les Mémoires de l'Académie de Turin (t. XXV, p. 230-252; 1820), fournit quelques indications intéressantes. D'abord, dans la nuit que les ascensionnistes passèrent au pied des dernières crêtes à la cabane des Mineurs, habitée deux mois, « la plus élevée de l'Europe » (1681 toises), Zumstein « éprouva une certaine oppression de poitrine qui l'empêcha de fermer l'œil de la nuit. Peut-être, ajoute-

Dr Parrot, *Ueber die Schneegränze auf der mittaglichen seite des Rosagebürges und barometrische Messungen. — Schweigger's journal für chemie und physik*, t. XIX, p. 367-423, 1817.

t-il prudemment, cette agitation n'était-elle due qu'à la vive impatience du lendemain » (p. 237). En arrivant près du sommet, au moment où les intrépides voyageurs traversaient, dans des marches taillées dans la glace, une arête redoutable, « le second en tête pâlit et s'appuya en chancelant vers la pente de gauche (p. 241) ; » quelques frictions à la neige le remirent sur pied. Sur le sommet, après un certain temps de repos, le pouls de Vincent donna 80 pulsations, celui de Zumstein, 101, celui d'un des guides, 104, et celui du chasseur qui s'était trouvé mal, 77, ce qui étonna à assez juste titre Zumstein.

Enfin, ils arrivèrent au sommet de la pyramide Vincent (4210^{m}) :

Ils avaient peu d'appétit, mais une soif ardente. Vincent avait déjà éprouvé du malaise en montant, et Zumstein, en se baissant pour ramasser quelques papillons argentés qui gisaient à demi morts sur la neige, eut un tournoiement de tête, qui heureusement se dissipa bientôt. (Anal. de Briquet, p. 16.)

Le 31 juillet 1820, ils renouvelèrent leur ascension, en compagnie de l'ingénieur Molinatti, et passèrent la nuit presque au sommet même de la montagne, par 13128 pieds :

Au milieu de la nuit, Zumstein fut réveillé par des palpitations qui le suffoquaient ; il sortit pour se remettre et ne tarda pas à se trouver mieux.

Le lendemain matin, ils continuèrent à grimper :

M. Molinatti, épuisé par la rareté de l'air, était obligé de s'arrêter à chaque instant, tandis que MM. Vincent semblaient avoir des ailes, désireux qu'ils étaient d'arriver les premiers au sommet ; Zumstein, en arrière d'une cinquantaine de pas, les suivait haletant, mais ne tarda pas à les rejoindre.

Ils arrivèrent ainsi au sommet de la pointe de Zumstein (4560^{m}), et redescendirent sans encombre.

Les autres ascensions de Zumstein, en 1821, 1822, ne contiennent rien qui puisse nous intéresser[1].

On constate donc, dans cette ascension, des troubles physiologiques évidents, bien que moindres que ceux dont les voyageurs au mont Blanc nous avaient conservé le récit.

Bien moindres encore sont ceux qu'a observés Hugi[2], qui ne va

[1] Elles sont racontées textuellement dans la *Bibliothèque universelle*, t. XXVIII, p. 66-77, 1825. — Les notes de Zumstein ont été publiées à Vienne, en 1824, par le baron de Welden. dans un livre intitulé : *Der Monte Rosa*, que je n'ai pu me procurer. J'emprunte les détails qui précèdent à un article publié par M. Briquet sous le titre d'*Ascensions aux pics du mont Rose*. — (*Bibl. univ.*. t. XII, p. 1 — 47 ; 1861.)

[2] *Naturhistorische Alpenreise — Solothurn*, 1830.

rien moins qu'à nier, chose bien étrange, l'accélération même du pouls sur les lieux élevés.

La plus grande hauteur atteinte par ce voyageur et ses compagnons fut le Finsteraarhorn (4275^m) :

A ces hauteurs je n'ai jamais manqué, dit-il, d'observer les battements du pouls, la respiration, la température du corps. Les résultats furent constants; c'est-à-dire que sous ces rapports, les hauteurs ou les plaines se comportent de même, quand on n'éprouve ni effort, ni fatigue, ni crainte. J'omets d'énumérer les observations. Seul, Währen, connu pour sa vigueur dans tout l'Oberland, éprouva quelques nausées sur la pointe du Finsteraarhorn. Pendant qu'il travaillait à la Pyramide, il cessa deux fois d'y voir, au point d'être obligé de s'asseoir. (P. 218.)

En sens inverse, Hipp. Cloquet[1] affirme que les accidents de la compression se font souvent sentir, même à la faible hauteur du grand Saint-Bernard :

La raréfaction de l'air.... produit sur les organes de la respiration une modification assez singulière pour être remarquée. Les personnes douées d'une constitution forte et dont les poumons sont dans un état parfait éprouvent un certain plaisir à respirer un air aussi frais que pur et léger; celles, au contraire, qui sont privées de ces avantages, mais plus particulièrement les asthmatiques, éprouvent un malaise marqué, et une excessive difficulté de respirer, lorsqu'elles fréquentent l'hospice et ses environs. On a vu au Saint-Bernard des voyageurs être pour ainsi dire asphyxiés par défaut d'air, et tomber en syncope, sans autre cause connue, ce qui arrive souvent aux individus faibles et délicats. Au début de la syncope, le pouls est très-fréquent ; mais cette accélération dans les battements des artères est d'autant moindre que la force des poumons est plus grande.

C'est encore à la rareté de l'air que l'on doit peut-être attribuer un phénomène remarquable que présente en ce lieu l'observation des plaies. Leur cicatrisation demande le double ou même le triple du temps qu'elle exigerait dans la plaine pour son entier achèvement...... On observe la même chose sur toutes les hautes montagnes. (P. 33).

Les récits des voyageurs au mont Blanc sont toujours les plus caractéristiques, pour ce qui a trait au *mal des montagnes*. Depuis Auldjo, un intervalle de sept ans s'était écoulé, pendant lequel une seule ascension (Wilbraham, 3 août 1830) avait eu lieu. Mais le 17 septembre 1834, le docteur Martin Barry[2] fit une ascension scientifique dont le récit est plein d'intérêt.

Il n'eut à constater de troubles physiologiques qu'au-dessus du Grand-Plateau :

[1] *Aperçu sur la topographie médicale de l'hospice du mont Saint-Bernard.* — *Nouveau journal de Méd., Chim., Pharm. etc.*, t. VII, p. 29-37; 1820.

[2] *Ascent to the summit of mont Blanc*, 16-18 septembre 1834. — *Edimbourg new philos. journal*, t. XVIII, *p.* 106-120; 1835.

Nous étions alors arrivés à une élévation où j'allais vérifier les récits des précédents voyageurs sur l'épuisement qu'amène le moindre effort dans une atmosphère très-raréfiée. Je n'ai point éprouvé de semblables inconvénients avant d'arriver à ce point, et je n'en ai point vu chez mes guides. Je ne pouvais faire à la fois qu'un petit nombre de pas, petits et lents. Deux ou trois inspirations profondes étaient à chaque pas suffisantes pour me remettre; mais, quand je repartais, l'épuisement revenait comme auparavant. J'éprouvais une indifférence dont ne triompha point la vue du sommet prêt à être atteint. J'eus même une légère défaillance, et fus obligé de m'asseoir pendant quelques minutes; mais un peu de vin me remit. . . . .

Après quelques minutes de repos au sommet, la faiblesse, l'épuisement, l'indifférence disparurent.... (P. 112).

Le récit de l'ascension du comte de Tilly, qui eut lieu quinze jours après celle de Barry, contient tant d'erreurs et de confusions que nous ne saurions nous y arrêter. Mais l'année suivante, un anglais, Atkins[1], atteignit le sommet avec deux compagnons, Hedringen et Pedwel, sans compter les guides, et observa des faits intéressants.

Son ascension eut lieu le 23 août 1837. Il commence par s'en excuser, comme d'une folie. Les premiers symptômes ne sont signalés par lui qu'au Grand-Plateau :

J'étais forcé, dit-il, de m'arrêter tous les dix pas pour reprendre haleine et reposer mes jambes. En proie à la soif, je l'étais encore à une langueur mortelle. J'avalais de temps en temps une gorgée de vinaigre, pour tempérer cette soif qui dévorait mes entrailles, et je saignais souvent du nez.

Coutet n'était pas sans angoisses et Jolliquet ne pouvait tenir la tête droite. Quelques-uns de ceux qui étaient en avant se traînaient çà et là, d'autres se relevaient et retombaient encore. Au pied du mur de la Côte gisait un homme étendu de son long et sans mouvements. Je ne puis dire que ce fût un des guides, mais il nous rejoignit enfin. . . . .

Enfin, après une ascension des plus accablantes, après nous être vus forcés de nous arrêter toutes les deux minutes pour respirer, nous arrivons sur la cime... Il faisait 7° au-dessous de zéro (p. 36). . . . .

. . . .

Le petit chien qui nous accompagnait eut à lutter contre le sommeil sitôt que nous eûmes passé le Grand-Plateau, et chaque fois que nous nous arrêtions, il tâchait de se coucher à nos pieds, trouvant la neige froide. Il laissa voir plus d'un signe de surprise en jetant souvent autour de lui des yeux égarés. Tantôt il faisait un effort pour courir bien vite, et tantôt il retombait épuisé. Quant à son appétit, les os de poulet que nous lui donnions disparaissaient avec une vitesse étonnante, mais il ne paraissait pas souffrir de la soif. . . . .

Hedringer, voulant se faire gloire de mettre le premier le pied sur la cime, se mit à courir, mais à peine eut-il fait quelques pas que, d'épuisement, il s'éten-

[1] *Ascension au mont Blanc*, traduit de l'anglais, par Jourdan. — Genève, Londres, 1838.

dit raide sur la neige pendant deux ou trois minutes, essuyant des douleurs cruelles. Il subit les conséquences de son ardeur déplacée pendant tout le temps que nous restâmes au sommet (p. 56). . . . .

. . . .

Nous respirions avec toujours plus de liberté à mesure que nous descendions, et nous nous sentions si légers qu'il nous semblait à peine toucher à la terre (p. 59).

A partir de cette époque, les ascensions du mont Blanc deviennent plus nombreuses. Depuis celle d'Atkins jusqu'à la célèbre expédition de Bravais, Lepileur et Martins, en 1844, on en compte 17 ; mais je ne puis guère signaler comme intéressante que l'ascension de Mlle d'Angeville (4 septembre 1838), qu'il fallut à peu près porter jusqu'au sommet.

Le docteur Rey[1] raconte, dans les termes suivants, les symptômes qu'éprouva cette femme intrépide :

J'ai appris de Mlle Dangeville que, dans son état habituel, son pouls bat de 58 à 60 fois par minute, bien petit et bien régulier. Au départ de Chamounix pour l'ascension, il était déjà de 64 et élevé, l'émotion commençait : aux *Grands-Mulets*, il était de 70 et irrégulier, quoiqu'elle se sentit au mieux, moralement et physiquement. A la montée, qui est au-dessus du *Grand-Plateau*, où elle a commencé à ressentir un peu de fatigue et de sommeil, elle a compté 136 pulsations à intervalles inégaux, c'est-à-dire beaucoup plus du double de ce qu'elles sont pour elle dans son état ordinaire. Arrivée à un lieu nommé le *Mur de la Côte*, près de la dernière cime, elle éprouva une sorte d'agonie, occasionnée par un excessif besoin de dormir, et elle ne peut dire jusqu'où une accélération aussi extraordinaire s'éleva pendant cette grave indisposition ; mais cinq minutes après son arrivée à la cime, le pouls de la noble et généreuse Française était déjà revenu à 108 (p. 341).

Jetons donc un coup d'œil sur les autres montagnes.

Le célèbre naturaliste Desor[2], dans le récit des excursions nombreuses avec séjour prolongé dans les hauts lieux, qu'il fit en compagnie de l'illustre Agassiz, s'étonne de ne ressentir et de n'observer aucun trouble physiologique ; il en est frappé surtout lors de son ascension à la Jungfrau (4170m) en 1841 :

Je dois avouer que pendant tout le temps que nous fûmes au sommet, de même que pendant la montée, nous n'éprouvâmes aucun de ces accidents, tels que nausées, saignement du nez, tintement des oreilles, accélération du pouls, et tant d'autres malaises auxquels la plupart de ceux qui ont fait l'ascension du mont Blanc nous disent avoir été en proie. Devons-nous l'attribuer à cette différence de

[1] Influence sur le corps humain des ascensions sur les hautes montagnes, *Revue médicale*, 1842 ; t. IV, p. 321-344.

[2] *Excursions et séjours dans les glaciers et les hautes régions des Alpes*, de M. Agassiz et de ses compagnons de voyage. — Neufchâtel, Paris, 1844.

500 mètres qu'il y a entre la hauteur du mont Blanc et celle de la Jungfrau? ou bien faut-il en chercher la cause dans l'habitude que nous avions contractée depuis plusieurs semaines de vivre à une hauteur de plus de 2,590 mètres; mais il est à remarquer que M. Duchâtelier, qui n'était dans les montagnes que depuis quelques jours, ne se trouva pas plus indisposé que nous. Sans prétendre décider cette question, qui appartient plus particulièrement au domaine de la physiologie, je penche cependant á croire qu'il y a un peu d'exagération dans tout ce qu'on nous raconte à ce sujet. Peut-être aussi quelques voyageurs se sont-ils laissé tromper par leur imagination, semblables à ces élèves en médecine qui se croient tous les jours atteints de la maladie dont le professeur vient de leur exposer les caractères. Des physiologistes allemands prétendent même, si je ne me trompe, avoir observé les symptômes les plus extraordinaires sur des montagnes de quelques mille pieds. (P. 409).

Il revient encore[1] sur cette immunité à propos de son ascension au Schreckhorn, ou plutôt au Lauteraarhorn (4030^{m}), le 8 août 1842 :

Je dois faire remarquer que *personne de nous n'éprouva le moindre malaise ni au sommet, ni à la montée, ni à la descente*, en sorte qu'à cet égard je puis pleinement confirmer ce que j'ai dit ailleurs sur tous les prétendus inconvénients des hautes régions.

Et cependant, à cette conclusion si absolue, on peut opposer même dans les récits de Desor[2], le fait ci-dessous :

Nous cheminions ainsi depuis un quart d'heure, lorsque tout à coup notre ami Nicolet nous crie qu'il n'en peut plus. Il éprouve cette fatigue complète dont on est quelquefois assailli dans les hautes Alpes, mais qui passe très-vite pourvu seulement qu'on se repose un instant..... Je sens bien, dit-il, que je n'arriverai pas vivant à Zermatt..... (P. 342).

Les voyageurs étaient seulement au pied du mont Cervin.

Gottlieb Studer[3] fait, le 13 août 1842, l'ascension de la Jungfrau; il n'éprouve rien non plus et en donne une étrange raison :

Nous ne nous aperçûmes d'aucun des troubles qu'à de si grandes hauteurs les voyageurs ont souvent attribués à la raréfaction de l'air; cependant il faut faire attention que, dans une aussi longue ascension, pendant trois longues heures, la poitrine peut se reposer...... (P. 515).

En sens inverse, un autre touriste, Spitaler[4], qui fit, avec plu-

[1] *Revue suisse.* — Neufchâtel, juin 1843.

[2] *Journal d'une course faite aux glaciers du mont Rose et du mont Cervin.* — *Biblioth. univ. de Genève.* 2e série, t. XXVII, 1840.

[3] *Ausflug nach dem Aletsch Eismeer und Ersteigung der Jungfrau* (4167^{m}). Rapporté *in-extenso* dans *Matériaux pour l'étude des glaciers*, par Dollfus-Ausset, t. IV, 1864.

[4] *Beobachtungen über den Einfluss der verdünnte Luft und des stärken Sonnenlichtes auf hoher Gebirgen, etc...* — *Osterreich. med. Jahrb. N. Folge*, t. XXXII; 1843.

sieurs compagnons, des ascensions sans grande importance, a certainement exagéré les souffrances éprouvées. Ainsi, à propos du Venediger dans le Pinzgau, montagne de 3675^{m}, il fait le lamentable tableau que voici :

Nous avions le besoin d'inspirer plus souvent et tous les muscles étaient mis en action avec peine ; les battements du cœur et du pouls doublaient ou même triplaient ; les pulsations étaient petites et faibles, les difficultés respiratoires allaient jusqu'à l'angoisse, et arrêtèrent l'un de nous à quelques centaines de pas de la cime ; un autre, en revenant, eut une légère hémorrhagie pulmonaire ; la sécrétion des reins était singulièrement diminuée.... personne n'était incommodé par la sueur, mais la soif était fort grande. La température était de + 2 à + 6° R... — Dans la plaine nous n'aurions pas eu froid, mais à 9,000 pieds une sensation pénible de froid nous prit ; tous avaient la peau flasque, le visage d'aspect vieillot ; la force des muscles était singulièrement diminuée, et de quarante, vingt-six seulement atteignirent la cime.

Le témoignage du célèbre physicien anglais, le principal Forbes, est bien autrement précieux et bien autrement exact. Forbes[1] parle des accidents de montagnes à propos de son expédition au col du Géant (3360^{m}), le 23 avril 1842, dans laquelle il vit un de ses guides légèrement atteint :

Nous étions à environ mille pieds du sommet, quand Couttet sentit sa respiration un peu affectée, mais non d'une manière grave. C'est là un symptôme très-commun, et qui dépend beaucoup de l'état de la santé. Je m'en ressentis à peine ici jusqu'au sommet. Mais, en 1841, j'en ai été nettement incommodé à un niveau inférieur, en montant à la Jungfrau. Les guides disent que ces variations tiennent à l'état de l'air ; et David Couttet m'affirma, que, à différents jours, lui et son père avaient senti *en même temps* la difficulté à respirer à une hauteur très-médiocre. (P. 224.)

Après tous ces voyageurs, naturalistes ou simples touristes, qui n'ont parlé qu'incidemment des accidents physiologiques, nous arrivons à une expédition scientifique demeurée justement célèbre, la première qu'ait vu le mont Blanc depuis de Saussure, et dont un des membres, le docteur Lepileur, était spécialement chargé de s'observer lui-même et d'observer ses compagnons au point de vue physiologique. Aussi le récit[2] qu'il a fait de cette ascension mérite-t-il d'être ici analysé très-longuement.

Mais avant d'aborder ce récit lui-même, M. Lepileur, qui avait l'habitude de la montagne, raconte que, dans ses excursions anté-

[1] *Travels through the Alps of Savoy.* — Édimburgh, 1843.

[2] *Mém. sur les phénomènes physiologiques,* que l'on observe en s'élevant à une certaine hauteur dans les Alpes. *Revue médicale,*, 1845, t. II.

rieures à l'ascension du mont Blanc, il a éprouvé ou observé un certain nombre de phénomènes intéressants, surtout par les faibles hauteurs auxquelles ils se sont présentés :

En allant de Martigny au grand Saint-Bernard, en septembre 1832, je vis mon frère et deux de mes amis présenter la plupart des symptômes du mal des montagnes; l'un, jeune homme de vingt-six ans, fut pris, une heure avant d'arriver à l'hospice, de malaise général, de fatigue, d'essoufflement, de palpitations, et bientôt ne put marcher sans être soutenu et sans faire des haltes fréquentes à intervalles égaux. Arrivé à l'hospice, il se coucha, sans pouvoir prendre autre chose qu'un peu de thé ; il souffrit toute la nuit d'un malaise qu'il comparait à celui de la fièvre; le lendemain matin il sentait encore de l'oppression et se hâta de redescendre à Martigny. Des deux autres, l'un avait trente ans, et mon frère dix-sept : ils ne souffrirent que fort peu dans la dernière demi-heure de montée ; mais quoique peu fatigués en arrivant, ils n'avaient pas le moindre appétit, et même la vue et l'odeur des aliments leur inspirait du dégoût. La nuit les remit tout-à-fait; le lendemain ils purent monter à l'une des cimes au sud du couvent, et redescendre à pied à Martigny. La fatigue de cette journée leur ôta également le soir tout appétit, ainsi qu'à un autre de nos compagnons, qui n'avait rien éprouvé au Saint-Bernard ; mais ce n'était alors que de la fatigue, il ne restait rien du malaise qu'ils avaient ressenti la veille.

Au mois de juin 1835, en gravissant la pente de neige qui s'étend au-dessous du château Pictet sur le Buet, à une hauteur d'environ 3,000 mètres, je sentis mes forces défaillir, j'avais beaucoup de peine à avancer. Un de mes amis qui m'accompagnait, souffrait déjà depuis près d'une demi-heure de fatigue dans les jambes et les genoux. Il faisait des haltes fréquentes. Quant à moi, je ne pouvais faire plus de 160 pas de suite.

Un peu de chocolat que je mangeai me remit presque complétement; cependant j'étais encore obligé de m'arrêter de temps à autre, quoique beaucoup moins épuisé. Du château Pictet à la cime du Buet la pente est très-douce, et je n'éprouvais dans ce trajet aucune lassitude.

Au mois de juillet de la même année, je montais avec un guide sur la pointe de rocher qui domine au nord le col Saint-Théodule ; environ soixante mètres au-dessous de la cime, je m'aperçus que le guide s'arrêtait fréquemment ; bientôt il lui devint impossible de faire plus de huit à dix pas sans reprendre haleine. C'était un homme robuste et dans la force de l'âge, je ne pouvais penser que le poids de mon sac qu'il portait suffît pour le fatiguer à ce point ; le voyant haleter, pâlir et sur le point de tomber en défaillance, je lui dis de prendre un peu de repos ; il ne voulut pas d'abord convenir de son malaise, mais enfin il fut obligé de s'asseoir, une sueur froide coulait sur son visage, il était épuisé. Je lui fis manger un peu de pain et de chocolat, ce qui, joint à un repos de dix minutes, le remit tout à fait. La hauteur à laquelle nous étions n'était guère que de cent cinquante mètres au-dessus du col Saint-Théodule, c'est-à-dire de 3,560 mètres ; mais j'avais remarqué en partant de Zermatt, vers minuit, que le guide était ivre, et c'était là ce qui l'avait rendu si impressionnable à la raréfaction de l'air.

Deux jours après, en gravissant le Breithorn, à l'est-sud-est du col Saint-Théodule, un de mes guides se trouva dans l'impossibilité de monter plus haut que le dernier plateau (environ 3,900 mètres) ; cet homme avait soixante ans et était affecté d'une double hernie inguinale. Un autre guide du même âge éprouva beaucoup d'anhélation en gravissant le cône terminal du Breithorn (4,100 mètres),

dont la pente est très-raide. Les deux autres guides, hommes de trente à trente-cinq ans, n'eurent aucun malaise non plus que moi. L'année suivante, faisant la même excursion avec un de mes amis, je fus pris d'un sommeil invincible en traversant le vaste plateau situé au sud du Breithorn, où l'année précédente un guide avait dû s'arrêter. Je dormais en marchant, quelqu'effort que je fisse pour me tenir éveillé; un des deux guides éprouvait le même effet, l'autre et mon compagnon de voyage ne ressentaient rien de semblable. De retour au col Saint-Théodule (3,410 mètres), après un léger repas fait de bon appétit, nous dormîmes tous au soleil, pendant une heure environ. En se réveillant, mon compagnon de voyage se sentit mal au cœur et vomit ce qu'il avait mangé une heure avant. Il faut remarquer que l'avant-dernière nuit nous avions peu et mal dormi, et qu'après une marche de huit heures, nous n'avions pris, la nuit qui précéda notre excursion, que trois quarts d'heure de sommeil. Il m'est arrivé plusieurs fois, à Paris, de me trouver ainsi dominé par le sommeil au point de dormir et même de rêver en marchant. Nous n'avions, du reste, éprouvé les uns ni les autres aucun autre malaise pendant cette excursion.

Au mois de juillet 1844, en gravissant la pente du Couvercle, à une hauteur de 2,500 mètres environ, j'éprouvai un malaise et une difficulté à monter comme celle que j'avais ressentie en 1835 au Buet. Cet état dura près de vingt minutes. Je n'étais pas obligé de m'arrêter, mais je souffrais, et mes forces me paraissaient diminuées de beaucoup : enfin, sans cause appréciable, car je continuais à monter, le malaise cessa tout-à-coup, je pus franchir sans peine la hauteur de 150 mètres environ, qui séparaient le point où je me trouvais du Jardin. Arrivé en ce dernier endroit, je mangeai avec assez de plaisir; mais je fus bientôt rassasié. M. le Dr Noel de Mussy, l'un de mes compagnons dans cette promenade, et qui se trouvait pour la première fois dans les montagnes, n'éprouva qu'un peu d'essoufflement; au Jardin, il mangea avec beaucoup d'appétit. Cependant le soir, en revenant, il était beaucoup plus fatigué que moi. Un autre voyageur qui nous accompagnait ne ressentit aucun malaise.

Enfin, au mois de septembre, M. Camille Bravais, qui montait avec moi à la pierre de l'Echelle, parvenu à une hauteur d'environ 2,300 mètres, était obligé de s'arrêter tous les vingt pas pour reprendre haleine. Il est vrai que M. C. Bravais, affecté sans doute d'un peu d'hypertrophie du cœur, n'a jamais pu gravir une montée rapide, sans éprouver de fortes palpitations. (P. 33 et suiv. du tirage à part.)

Arrivons maintenant aux ascensions du mont Blanc. Dans la première tentative avec MM. Bravais et Martins, le 30 juillet 1844, ils éprouvèrent quelques troubles sur le Grand-Plateau (3911^{m}), où ils dressèrent leurs tentes pour la nuit, et qu'ils ne purent dépasser : dégoût des aliments, diarrhée, abattement. M. Lepileur fut pris de frissons violents revenant huit ou dix fois par heure; M. Martins eut un accident analogue. Ils avaient, pour planter leur tente, prêté la main aux guides, et s'y étaient beaucoup fatigués.

Le 7 août, ils repartent tous trois, et vont coucher au Grand-Plateau : les frissons y reprennent M. Lepileur; M. Martins était assez malade, Bravais n'eut qu'une invincible envie de dormir aux

Grandes-Montées (3800^{m}). L'un des guides avait le visage cyanosé, ce que M. Lepileur attribue au froid. M. Martins, en descendant, eut une hématurie légère.

Le 28 août, troisième voyage; départ de Chamounix à minuit :

La montée se fit très-bien jusque vers 3,100^{m}. Là, Tournier se sentit malade, perdit tout à fait courage et fut obligé de redescendre. Il était pâle, la sueur inondait son visage et il pouvait à peine faire quelques pas en montant, bien qu'on lui eût fait déposer sa charge et que nous fussions sur une pente assez douce. Il attribuait cette défaillance de ses forces à ce que, la veille, ne pensant pas monter, il s'était fatigué beaucoup à un travail pénible. Son malaise cessa dès qu'il fut à deux ou trois cents mètres plus bas.

A 3,600^{m}, je ne ressentais rien en marchant d'un pas mesuré; mais quand je voulais monter vite, comme par exemple pour rejoindre mes compagnons de voyage, après m'être arrêté un instant, j'éprouvais du malaise. M. Bravais souffrait beaucoup du froid aux pieds depuis quelques heures. Plusieurs fois il avait été obligé de s'arrêter, et nous avions rétabli la circulation en lui frappant fortement la face dorsale des orteils avec nos mains. . . . .

Au Petit-Plateau, je mangeai d'abord avec répugnance, puis avec plaisir, lorsqu'un peu d'aliments eut excité l'estomac. Nous prîmes tous un peu de vin : c'était toujours là ce qui nous réussissait le mieux. . . . .

M. Bravais fut encore, cette fois comme les deux autres, pris d'envie de dormir vers la hauteur du Petit-Plateau (3,800^{m}).

En arrivant au Grand-Plateau, il était, ainsi que moi, un peu fatigué. M. Martins ne l'était pas. Cachat et Ambroise Couttet étaient épuisés. Aussitôt qu'ils furent arrêtés, ils se couchèrent au soleil sur la neige, et restèrent ainsi pendant trois ou quatre heures, sans pouvoir nous être d'aucune utilité. Ambroise Couttet eut de plus des nausées toute l'après-midi. Dès qu'il voulait se tenir debout, la syncope devenait imminente. Les autres s'occupèrent avec nous à mettre les instruments en observation et à déblayer notre tente que la neige avait aux trois quarts ensevelie du côté du N.-E. Ce travail ne nous fatiguait ni les uns ni les autres, et nous n'éprouvions pas plus d'essoufflement que la première fois et qu'à Chamounix, quand nous avions dressé nous-même la tente pour nous y exercer et montrer à nos guides comment il fallait s'y prendre.

L'appétit était chez tous moins développé que dans la vallée. M. Bravais en avait très-peu; chez M. Martins et chez moi il était nul. Cependant je n'éprouvais pas de dégoût pour les vivres frais que nous avions apportés. Trois heures après notre arrivée, ayant ôté mon masque de crêpe qui me gênait pour observer, je sentis un commencement de mal à la tête qui cessa dès que j'eus remis mon masque. Lorsque j'apportais une grande attention à l'observation de quelque instrument, quand par exemple je lisais un thermomètre placé sur la neige, et en général quand je me trouvais dans une position où la respiration était gênée, j'éprouvais une légère sensation nauséeuse qui durait à peine une ou deux secondes; l'instant d'avant et l'instant d'après je ne m'en ressentais nullement. Messieurs Martins et Bravais remarquèrent chez eux le même phénomène. A cela près, nous étions fort bien portants, gais et pleins de confiance. Nous ne tenions note de ces minuties de malaise que pour être rigoureusement exacts.

A. Simon fut pris de défaillance pendant que je lui tâtais le pouls. Il était debout et n'eut que le temps de se coucher sur la neige, pour éviter une syncope com-

plète. Depuis notre arrivée, il avait travaillé à déblayer la tente et à ranger nos effets de campement sans éprouver de malaise ; cependant il était un peu moins dispos cette fois que les autres. Il se remit au bout de quelque temps et mangea même avec appétit. Le soir, tout le monde était bien portant ; nos deux malades s'étaient remis de leur fatigue ; je dormis la nuit, quoique fort gêné par l'impossibilité d'étendre les jambes. Je sentis aussi quelques douleurs rhumatismales dans le genou droit, vers le bord interne de la rotule, et un peu de névralgie au côté externe de la cuisse gauche. M. Bravais observa jusqu'à minuit. Le 29, à quatre heures du matin, je fis la première observation. J'étais bien reposé, je me sentais toutes mes forces, mais je n'avais pas d'appétit; je mangeai seulement avec plaisir quelques raisins secs, les vivres, gelés à fond depuis un mois, et surtout la viande, m'inspiraient du dégoût. Vers six heures, M. Bravais et moi nous prîmes un peu de pain et de vin. Les premières heures de la matinée se passèrent à observer et à faire quelques expériences, pendant lesquelles nous restâmes debout, allant et venant sur la neige molle. A dix heures dix minutes, on partit pour la cime.

La traversée du Grand-Plateau fut pénible à cause de la neige dans laquelle on enfonçait jusqu'au mollet. Je ne me sentais plus aussi fort que le matin, mais je n'éprouvais aucun malaise. Je transpirai abondamment en traversant le Grand-Plateau et pendant la première demi-heure de montée. Nous souffrions du froid aux pieds et aux mains, M. Bravais surtout. M. Martins s'essoufflait un peu plus et plus vite que nous. Jusqu'au bas des rochers Rouges supérieurs, 4,400^m environ, je n'avais de malaise d'aucune espèce ; nons faisions trois cent cinquante à quatre cents pas de suite sans reprendre haleine ; mais arrivé à ce nombre, on sentait le besoin de quelques instants de repos. La pente sur laquelle nous nous élevions, mesurée avec la boussole du géologue, était, vers 4,300^m, de 42°, l'inclinaison de notre marche était de 16°.

Vers 4,400^m, je commençai à sentir au bout de dix ou douze pas un peu de fatigue avec douleur analogue à celles de la courbature, dans les jambes et les genoux. Je comptai de nouveau mes pas, nous en faisions encore cent entre chaque halte ; mais les vingt derniers m'étaient très-pénibles. Cette douleur des jambes cessait dès que je m'arrêtais, et les premiers pas que je faisais ensuite étaient très-faciles. Je commençais à désirer vivement de voir la pente s'adoucir. Un quart d'heure avant d'atteindre le haut des rochers Rouges supérieurs elle devint en effet moins roide. Vers cette hauteur (4,500^m) j'eus un peu de transpiration qui ne dura que quelques instants. Après une courte halte on continua de monter ; un peu avant le sommet des rochers Rouges supérieurs, j'avais commencé à sentir quand je marchais un malaise indéfinissable ; je n'avais ni mal de tête ni palpitations, une fois ou deux je sentis quelques battements dans les carotides, sans doute parce que j'avais fait quelques pas plus vite que les autres. Je n'avais pas non plus de mal de cœur, mais un malaise général, une sorte d'épuisement. J'étais faible et il me semblait que j'avais juste assez de force pour exécuter les mouvements de locomotion pendant un certain temps et qu'ensuite ce serait fini ; j'étais en un mot comme un homme qui, à la fin d'une longue journée de marche, épuisé de fatigue, sent qu'il pourra bien arriver encore à tel point peu éloigné, mais qu'il doit renoncer à aller plus loin. Je ne pouvais marcher que la tête basse et le menton touchant presque le sternum. Cette attitude était celle de tous, et lorsqu'on reprenait haleine, c'était aussi, pendant les premières secondes, le cou tendu et le corps penché en avant. Clissold avait observé la même chose. Un peu d'envie de dormir se fit sentir chez moi à plusieurs reprises et j'eus quelques bâillements. Enfin ce qui ajoutait beaucoup au malaise, c'était une soif

assez vive ou plutôt une sécheresse et un état pâteux de la bouche; un peu de neige fondue sur la langue en mâchant du raisin sec, désaltérait pour quelques instants. Cet état de malaise ne se développa que graduellement, et il était très-supportable quand, vers 4,560^{m}, un vent violent du nord-ouest nous assaillit. Aussitôt nous sentîmes se glacer nos mains, notre visage et la partie de la tête que la coiffure ne couvrait pas. Le côté du corps que frappait le vent était aussi très-refroidi, surtout chez MM. Bravais et Martins, dont les vêtements étaient assez légers. Comme nous montions en zigzag, quand nous nous trouvions avoir le vent en face pendant une raffale, j'éprouvais alors au plus haut degré la sensation que j'ai décrite à propos de notre première ascension au Grand-Plateau. J'avais beau me couvrir de la main le nez et la bouche, baisser, détourner la tête, je ne respirais pas plus que si j'avais été sous l'eau. J'éprouvais l'anxiété de l'asphyxie, la tête me tournait et un peu de mal de cœur se faisait sentir. Lors même que je tournais le dos à la raffale, il me semblait que le vent faisait le vide autour de moi, et je respirais difficilement. Je fus le seul à éprouver cet effet du vent, tant au premier qu'au troisième voyage. Ce surcroît de malaise dura sans discontinuer pendant un quart d'heure ou vingt minutes, je me demandais si je pourrais arriver au sommet, je sentais bien que j'y parviendrais; mais il me fallait employer tout ce que j'avais de force morale pour faire agir les forces physiques. Par moment aussi je m'avançais machinalement, sans penser, pour ainsi dire. Personne ne parlait, chacun n'avait comme moi qu'une pensée, celle d'avancer encore de quelques pas. Aussi l'espace que l'on parcourt entre les rochers Rouges et la cime, bien que l'on mette près de deux heures à le franchir, ne m'a pas laissé beaucoup de détails dans la mémoire, et se retrace à moi comme un souvenir informe assez pénible et très-court, sans doute à cause de son uniformité. La même chose a eu lieu pour MM. Bravais et Martins, car nous avons été surpris tous trois quand il fallu reconnaître par nos notes que nous avions mis près de deux heures à aller des rochers Rouges à la cime. Nous ne nous rappelions que deux ou trois incidents de cette montée, qui, bien que pénible, fut pourtant faite sans interruption et sans l'excès de fatigue et d'épuisement éprouvé par quelques voyageurs. C'est, je crois, au vide que laisse dans la mémoire cette partie de l'ascension au mont Blanc qu'il faut attribuer les erreurs et les confusions si fréquentes dans les récits des voyageurs lorsqu'ils parlent de ce trajet.

Quand on faisait halte, je me trouvais au bout de deux ou trois secondes en parfaite santé ; je ne souffrais plus que d'un peu de soif et du froid aux pieds et aux mains. Nous ne trouvâmes pas, comme de Saussure l'a observé sur lui-même, que le malaise causé par la marche arrivât à son plus haut point au bout de huit ou dix secondes de halte.

Pendant le dernier quart d'heure de montée, la pente était plus douce et le vent soufflait avec moins de violence. Ces deux causes, jointes au bonheur que j'éprouvais en voyant la cime à peu de distance, diminuèrent beaucoup mon malaise. M. Bravais ne souffrit que du froid. Nous avions déjà reconnu que de nous trois c'était lui qui ressentait le moins les effets de l'air raréfié. M. Martins était celui qui en souffrait le plus. Il était très-essoufflé, avait des palpitations, des battements dans les carotides et un peu de mal de tête ; il se sentait une fatigue générale, et faisait moins de pas que nous. En arrivant à la cime, il s'en croyait encore éloigné d'une demi-heure, et ressentit en s'y trouvant un vif mouvement de joie. Aucun de nous n'éprouva, pendant la marche, ni douleur ni fatigue, enfin rien d'extraordinaire dans l'articulation coxo-fémorale ; en général, on ne ressentait pas de fatigue dans les muscles de la cuisse.

MM. Bravais et Martins en avaient un peu dans le droit antérieur seulement.

Entre les rochers Rouges (4,500^m) et les Petits-Mulets (4,660^m) nous faisions d'abord, sans reprendre haleine, quatre-vingts pas, puis ce nombre se réduisit à soixante-dix, et enfin à trente-cinq ou quarante pas entre les Petits-Mulets et la cime. Cependant, au moment d'arriver sur le point culminant, la pente étant très-douce, nous fîmes une ou deux traites plus longues que les autres. A quarante mètres environ du sommet, M. Bravais voulut voir combien il pourrait faire de pas en montant aussi vite que possible et dans le sens de la grande pente. Il fut obligé de s'arrêter au bout de trente-deux pas; il sentait, dit-il, qu'au moment où il s'arrêta, il aurait pu en faire encore deux ou trois, peut-être quatre, mais qu'il lui eût été tout à fait impossible d'aller au-delà.

Pendant la montée, aucun des guides et des porteurs ne parut souffrir; deux d'entre eux étaient un peu plus fatigués que les autres : c'étaient Frasserand, qui déjà la veille était arrivé un peu fatigué au Grand-Plateau, et A. Couttet, qui y avait été malade toute l'après-midi. Nos deux guides et le porteur Simon paraissaient pouvoir faire un plus grand nombre de pas que nous. Plusieurs fois même ils ne s'arrêtèrent que parce qu'on le leur demandait. Nous arrivâmes à la cime, M. Bravais et moi, en même temps : M. Martins nous y rejoignit quelques minutes après. . . . .

Pendant huit ou dix minutes je souffris aux pieds de vives douleurs, causées par la réaction de chaleur qui succédait à un froid intense. J'éprouvai aussi, dans les premiers moments de notre arrivée et quand les douleurs des pieds eurent cessé, un peu de somnolence. Je me couchai sur la neige, où je restai cinq minutes, mais sans pouvoir dormir. Je me relevai alors, l'envie de dormir se dissipa, et pendant tout le temps que nous passâmes au sommet je n'éprouvai absolument aucune sensation pénible, sauf un peu de froid pendant la dernière heure. Je n'avais pas d'appétit, quoique l'idée de manger ne me causât aucune répugnance. M. Bravais était aussi fort bien portant; seulement il éprouvait de temps à autre la petite sensation nauséeuse que M. Martins et moi nous avions observée sur nous la veille au Grand-Plateau. Il se sentait de l'appétit et mangea un peu de biscuit et quelques pruneaux. Peu de temps après notre arrivée à la cime, il but, ainsi que moi, environ un tiers de verre d'eau-de-vie. Cette liqueur nous sembla délicieuse et fort douce, à notre grande surprise; elle nous fit beaucoup de bien, et nous donna des forces sans nous causer l'excitation qu'amènent ordinairement les spiritueux. Nous bûmes aussi, pendant les deux premières heures de notre séjour au sommet, un peu de vin. M. Martins, un instant après son arrivée à la cime, fut pris de nausées, et vomit quelques grains de raisins secs qu'il avait mangés une heure auparavant. Le vomissement le soulagea. Il comparait son malaise au mal de mer. Couché, il ne souffrait presque pas, mais le mouvement et la station ramenaient les nausées. Une heure après, il était déjà mieux; au bout de deux heures, le malaise cessa complétement. Il but un peu de vin, mais ne voulut pas manger. Les six hommes que nous avions avec nous mangèrent à peine, mais ils burent environ deux bouteilles de vin et une demi-bouteille d'eau-de-vie. Tous se trouvaient en parfaite santé; deux seulement étaient évidemment fatigués, quoiqu'ils n'en voulussent pas convenir. . . . .

On pouvait marcher sans aucune difficulté sur un plan à peu près horizontal; mais, dès qu'il fallait monter, on éprouvait de l'anhélation et une lassitude générale. . . . .

Nous avions tous la langue blanche; mais celle des guides l'était moins que la nôtre, et leur appétit n'était pas non plus, comme le nôtre, complétement ou presque complétement nul. (P. 44-54.)

Après quelques heures d'observation, ils redescendirent au Grand-Plateau ; M. Martins fut pris d'essoufflement, de palpitations et de battements dans les carotides, en sorte qu'il fut forcé de s'asseoir. Pendant la nuit, M. Lepileur ressentit une violente névralgie sciatique à gauche. L'appétit ne lui revint que le lendemain, quand, retournant à Chamounix, il arriva par 3000^{m} ; dans toute la journée, il n'avait mangé qu'un petit morceau de pain trempé dans un peu de vin. Il envoya des vivres frais à Martins et à Bravais, restés au Grand-Plateau ; ceux-ci les reçurent avec grand plaisir et firent *un bon repas ;* toutefois, ce qu'ils mangèrent entre cinq n'aurait guère fait que la ration d'un homme dans la vallée.

Les urines étaient rares et foncées chez tout le monde.

Le travail de M. Lepileur est terminé par une série de tableaux indiquant le nombre de pulsations observées sur lui-même, sur Martins et sur trois guides, de Servoz ou de Chamounix au sommet du mont Blanc. Il le résume, en disant :

L'augmentation de fréquence est un résultat constant, quand on s'élève, à partir d'un certain niveau,... qui peut varier suivant les individus.... Mon pouls s'est trouvé moins fréquent à Chamounix (60) qu'à Paris (67,25) ;.... ce fut le contraire chez M. Martins.... Le rapport de fréquence entre Chamounix et la cime est, pour M. Martins 0,82 ; pour moi, 0,68 ; pour Muguier, 0,67 ; pour Couttet, 0,60 ; pour Simond, 0,61. (P. 77-80.)

M. Martins[1] a raconté beaucoup plus tard le même voyage ; ses souvenirs concordent avec ceux de M. Lepileur :

Sur le Grand-Plateau les guides se mirent à déblayer la tente. Ce travail était pénible : chacun d'eux avait à peine enlevé quelques pelletées qu'il s'arrêtait pour respirer ; un secret malaise se traduisait sur toutes les physionomies, l'appétit était nul. Auguste Simond, le plus grand, le plus fort, le plus vaillant des guides, s'affaissa sur la neige, et faillit tomber en syncope pendant que le docteur Lepileur lui tâtait le pouls ; c'était l'effet de la raréfaction de l'air jointe à la fatigue, à l'insomnie, dont chacun de nous était plus ou moins affecté. Nous étions alors à près de 4000 mètres au-dessus de la mer, et à 3000 mètres déjà il y a peu d'hommes qui ne se sentent incommodés. Je ne m'étonne pas que nous ayons ressenti dans cette ascension les effets de la raréfaction de l'air, qui avaient été peu marqués dans les deux premières. Jamais nous ne nous étions élevés si vite de Chamounix au Grand-Plateau : partant de 1040 mètres au-dessus de la mer, nous étions, après dix heures et demie de marche, à 3930 mètres ; c'est une différence de niveau de 2890 mètres, franchie en moins d'une demi-journée. Tout malaise disparaissait quand nous cessions d'agir. (P. 25 du tirage à part.)

[1] *Deux ascensions scientifiques au mont Blanc. — Revue des Deux-Mondes,* livraison du 15 mars 1865.

Le lendemain, ils terminèrent l'ascension :

La raréfaction de l'air.... nous forçait à marcher lentement ; tous les vingt pas, nous nous arrêtions essoufflés. . . . .

Nous touchions au but, mais nous marchions lentement, la tête baissée, la poitrine haletante, semblables à un convoi de malades. L'influence de la raréfaction de l'air se faisait sentir d'une manière pénible : à chaque instant, la colonne s'arrêtait. Bravais voulut savoir combien de temps il pourrait marcher en montant le plus vite possible : il s'arrêta au trente-deuxième pas sans pouvoir en faire un de plus. Enfin à une heure trois quarts nous atteignîmes ce sommet tant désiré. (P. 27.)

Le récit de l'ascension du 19 juillet 1859, faite par MM. Chomel et Crozet[1], a également donné lieu à d'intéressantes observations ; ils suivirent une route différente de la route ordinaire, de la route battue, pourrait-on dire, tant les voyages au mont Blanc sont devenus fréquents :

Vient enfin la calotte du mont Blanc, qui, malgré son peu d'élévation au-dessus de la mer de glace, exige pourtant encore deux mortelles heures d'ascension. C'est là que, pendant ce dernier trajet, le manque d'air rend pénible tout mouvement du corps, et qu'il faut des efforts surhumains pour résister aux palpitations, au sommeil et à l'évanouissement. . . . .

Ce sommet tant désiré, quelques pieds à peine nous en séparent encore. Nous nous piquons d'amour-propre, et nous relevant de la neige où nous étions étendus, nous faisons à la course le reste du chemin. . . . .

Nous voici au sommet du géant des Alpes. La première impression.... fut, hélas ! un tournoiement de tête et des contractions d'estomac qui nous firent chanceler.

Le célèbre physicien anglais Tyndall[2] est un des plus ardents ascensionnistes des Alpes. Chaque année le voit plantant son alpenstock sur quelque sommet nouveau. Et ce n'est pas seulement dans un but scientifique qu'il brave ainsi de sérieux dangers ; ce ne sont pas seulement les grands spectacles de la nature qui l'attirent et le passionnent ; il semble, lui aussi, pris de cette manie de grimper pour grimper, qui, née en Angleterre, fait aujourd'hui des progrès dans notre propre pays. Mais son témoignage n'en a que plus de valeur pour ces diverses raisons.

C'est le 12 août 1857 que Tyndall fit sa première ascension au mont Blanc, en compagnie de MM. Hirst et Huxley. Celui-ci dut s'arrêter aux Grands-Mulets.

[1] *Ascension du mont Blanc par la route de Saint-Germain-les-Bains.* — *Nouv. ann. des voy.*, t. CLXIII, p. 358-362, 1859.

[2] Tyndall, *The glaciers of the Alps.* — London, 1860.

Arrivé aux Derniers Rochers, Tyndall se sentit épuisé. Le guide Simond s'écriait à chaque pause : « Ah ! comme ça me fait mal aux genoux ! »

Je me couchai sur un lit composé de granit et de neige, et m'endormis immédiatement.

Mais mon compagnon me réveilla bientôt : Vous m'avez fait peur, dit-il, j'ai écouté pendant quelques minutes, et je ne vous ai pas entendu respirer une fois.

Nous nous levâmes alors, il était 2 heures et demie.... Au sentiment de fatigue éprouvé jusque-là se joignit un nouveau phénomène, des battements de cœur. Nous y étions incessamment soumis, et ils devenaient parfois assez intenses pour faire craindre quelque danger. Je comptai le nombre de pas que je pouvais faire sans m'arrêter et le trouvai de quinze ou vingt. A chaque repos mon cœur battait à être entendu, comme je m'appuyais sur mon bâton, et son calme était le signal d'une nouvelle marche en avant. Ma respiration était courte, mais facile et sans obstacles. Je m'efforçai de rechercher si l'articulation de la cuisse, par suite de la diminution de pression, était relâchée, mais je ne pus m'en assurer. . . . .

Depuis que nous avions passé les derniers rochers, nous travaillions avec l'indifférence stoïque d'hommes qui accomplissent un devoir sans s'inquiéter des conséquences. Enfin un rayon d'espérance commença à éclairer nos esprits ; le sommet était visible, Simond montra plus d'activité.... à 3 heures et demie je joignis les mains sur le sommet. (P. 80.)

Le récit de la seconde ascension, faite le 12 septembre 1858, ne contient qu'une allusion en quelques mots aux fatigues des montagnes (p. 189).

En 1859, ascension plus sérieuse encore et des plus fructueuses pour la science. Tyndall, Frankland et neuf guides passèrent une nuit au sommet du mont Blanc ; leur séjour y fut d'environ vingt heures[1] :

Nous ne souffrîmes pas du froid, bien que nous n'ayions pas de feu et que la neige fût à une température de — 15 ° C.. Mais nous fûmes tous indisposés. J'étais mal portant en quittant Chamounix.... J'avais fréquemment triomphé de mon malaise dans des occasions précédentes, et j'espérais qu'il m'en arriverait autant. Mais je fus en ceci complétement déçu ; mon malaise était plus profondément enraciné qu'à l'ordinaire, et il augmenta pendant toute l'ascension. Mais, le lendemain matin, je me trouvai plus fort, tandis qu'il en était tout autrement pour plusieurs de mes compagnons. (P. 54.)

La même année, un Allemand, le docteur Pitschner[2], fit une ascension remarquable de la même montagne ; il fut très-sérieusement atteint :

[1] *Hours of exercise in the Alps.* — 2e éd. — London, 1871.

[2] *Der mont Blanc. Darstellung der Besteigung desselben am 31 juli, 1, u 2 August* 1859. — Berlin, 1860.

Nous étions à 6 heures du matin dans le Corridor (3,990 mètres) ; le thermomètre marquait — 8° C. A peine y étions-nous depuis cinq minutes, qu'une forte envie de dormir vint nous saisir, qui s'empara de moi au plus haut degré. Ma respiration était très-pénible ; mes yeux papillotaient, j'avais des bourdonnements d'oreilles, des douleurs de tête, des nausées ; bientôt survinrent à plusieurs reprises des vomissements ; Balmat n'était pas plus épargné que moi, et l'envie de dormir le domptant, il se coucha sur la neige, et je ne tardai pas à me laisser tomber auprès de lui.

« Je ne puis aller plus avant, avant de dormir une demi-heure, » dis-je à Balmat.... Je tombai dans un sommeil léthargique, entrecoupé de suffocations, qui finit par paraître dangereux à Balmat ; aussi se mit-il à me remuer et à me secouer, sans pouvoir me réveiller. Quinze minutes s'écoulèrent. Ses cris m'éveillèrent, et il me dit : « Vous ne pouvez pas rester ici plus longtemps, il faut aller en avant. » La sueur m'était venue au visage ; je me frottai la figure de neige, et après une vingtaine de respirations profondes, je me sentis remis. . . . . .

D'après les sensations que j'éprouvai sur le glacier, il est évident que l'influence de l'air des hauteurs s'est fait sentir chez moi d'une manière très-grave ; il engendre des congestions périlleuses. . . . .

Au retour, à trois heures après midi, les mêmes symptômes se manifestèrent dans le même lieu, mais avec une bien moindre intensité : maux de tête, dégoûts, vomissements.

L'expédition du docteur Piachaud[1], le 26 juillet 1864, donna des résultats tout aussi intéressants. L'auteur a porté son attention sur les phénomènes physiologiques éprouvés par ses compagnons et lui, et « attribués à la rareté de l'air » :

Le principal, dit-il, est l'oppression, qui existe à peine lorsqu'on est en repos, mais qui se manifeste dès qu'on se met en marche, pour cesser de nouveau, quand on s'arrête. Il en résulte l'obligation d'augmenter le nombre des inspirations, et de là une fatigue telle que tous les vingt ou vingt-cinq pas il faut nécessairement un temps d'arrêt. Cette fatigue, du reste, ne ressemble point à celle qu'on éprouve à la suite d'une longue marche ; ce ne sont pas les jambes qui en sont principalement atteintes, elle s'empare de l'économie tout entière, il y a comme une dépression générale aussi bien morale que physique. Il est essentiel d'ajouter que cet état particulier ne s'observe que pendant le mouvement ascensionnel, car une fois arrivé au sommet et pendant la descente je ne ressentis rien de pareil. Un autre effet remarquable de la rareté de l'air, c'est la tendance au sommeil, à laquelle j'avais peine à résister ; je sentais que si je m'étais étendu sur la neige, ou que j'eusse été seul, je me serais immédiatement endormi. Je ne pense pas que cette somnolence puisse être attribuée au refroidissement, car sur la cime, où le froid était des plus vifs, j'étais parfaitement éveillé.

J'ai éprouvé aussi de très-légers vertiges, mais, si j'en parle, c'est pour être complet. Quant aux nausées, vomissements, défaillances, hémorrhagies, il n'en fut question pour aucun de nous; nos guides, auxquels je demandai des renseignements sur ces divers points, me répondirent qu'ils n'avaient jamais observé

[1] *Une ascension au mont Blanc en 1864. Bibl. univ. de Genève*, 5e série, t. XXIII, p. 66-106, 1865.

d'hémorrhagies. Pour ce qui concerne l'oppression, qui est le symptôme le plus ordinairement constaté, je dois dire qu'il est loin d'être absolu, car de nous six, je suis le seul qui l'aie éprouvé d'une manière bien marquée; les guides ne s'en plaignaient pas et M. Loppé pouvait courir en arrivant près du sommet. (P. 86.)

L'examen du pouls a donné les résultats suivants :

	Chamounix, 1000m.	Grands-Mulets, 3000m.	Mont Blanc, 4800m.
Carrier, guide	116	104	104
Couttet, id.	96	108	104
Tournier, id.	96	108	104
Payot, id.	92	96	96
Loppé, voyageur	88	92	80

J'arrive à deux ascensions du mont Blanc qui furent remarquables au point de vue qui nous occupe parce que, pour la première fois, l'ensemble des phénomènes physiologiques y fut étudié avec l'aide des instruments de précision employés dans les laboratoires. Les troubles de la circulation et de la respiration furent ainsi déterminés dans les conditions qu'exige actuellement la rigueur des recherches physiologiques. De plus, ces constatations servirent de base à une théorie toute nouvelle du *mal des montagnes*, dont il sera question en son lieu.

M. Lortet[1] commence par un rapide historique des accidents éprouvés par les plus célèbres voyageurs. Puis, avant d'en arriver au récit de son voyage, il laisse échapper l'aveu précieux d'une incrédulité dont j'ai bien souvent entendu se vanter des voyageurs alpins, de ceux mêmes qui avaient exécuté les plus difficiles ascensions :

Cependant, malgré tant de faits et de preuves rapportés par ces hommes distingués et dignes de foi, j'étais resté un peu incrédule et je ne pouvais m'empêcher de croire que l'imagination ne jouât un très-grand rôle dans la production de ces phénomènes. J'avais escaladé souvent sur le massif du mont Rose, sans aucune difficulté et sans le moindre malaise, des hauteurs dépassant 4300 mètres, et je ne pouvais croire que 500 mètres de plus étaient suffisants pour abattre un organisme qui avait bien supporté l'épreuve jusqu'à cette altitude. Maintenant je suis forcé de l'avouer, j'ai été convaincu *de visu*, et même un peu à mes dépens, de l'existence bien réelle des malaises qui, à partir de cette hauteur, atteignent celui qui respire, et surtout celui qui se meut au milieu de cet air raréfié. (P. 11.)

Il arrive alors au récit de sa première ascension avec le docteur Marcet, le 16 août 1869. Je transcris dans ses points im-

[1] *Deux ascensions au mont Blanc en* 1869; *Recherches physiologiques sur le mal des montagnes* (*Lyon médical,* 1869).

portants sa description remarquable d'exactitude et de sobriété :

Jusqu'aux Grands-Mulets (3050 mètres), où nous arrivons à 3 heures pour passer la nuit, nous nous trouvons très-bien ; personne ne ressent le moindre malaise ; nous avons tous un appétit excellent ; mais déjà nos appareils annoncent un trouble sérieux de la circulation, de la respiration, et surtout de la calorification.

La nuit aux Grands-Mulets est horrible.... A deux heures et demie nous nous mettons en route.

Au point du jour, ils arrivent au Grand-Plateau (3932^m) :

Nous nous arrêtons un instant pour respirer.... Les guides prennent un peu de nourriture ; mais il m'est complétement impossible d'avaler une seule bouchée, quoique cependant je me sente encore parfaitement bien.

Nous montons avec une lenteur extrême ; nous éprouvons tous un sentiment de sommeil très-pénible à combattre et une céphalalgie occipitale intense, de la soif et de la sécheresse du gosier, peu de palpitations, mais un pouls misérable qui varie entre 160 à 172 par minute.

Arrivés à l'arête, nous étions tous fatigués, et il me semblait qu'il me serait complétement impossible d'aller plus loin. Personne d'entre nous n'eut de vomissement, mais nous avions presque tous le cœur sur les lèvres. Comme ceux qui sont atteints par le mal de mer, j'étais d'une indifférence complète pour moi et pour les autres, et je ne désirais qu'une chose, c'était de rester immobile. Les Anglais qui nous suivaient parurent encore plus éprouvés que nous : l'un d'eux fut obligé de s'arrêter et ne tarda pas à rebrousser chemin.

Enfin, ils atteignirent le sommet du mont Blanc :

Je ne ressentais plus aucune espèce de malaises, mais l'essoufflement était extrême dès que je voulais faire quelques pas un peu vite. Le moindre mouvement m'occasionnait des palpitations désagréables. Un de mes compagnons, qui n'avait rien ressenti jusqu'alors, fut pris subitement, dès qu'il arriva au sommet, de tournoiements de tête et de vomissements presque continuels qui ne cessèrent qu'en redescendant sur le Grand-Plateau. Son estomac était vide, aussi ne rendait-il que des matières glaireuses et bilieuses avec des efforts très-pénibles. Rien ne parvint à arrêter ce trouble d'estomac ; une seule chose paraissait améliorer sa position, c'étaient de petits fragments de glace pure qu'il parvenait à avaler de temps en temps. Son pouls était très-agité, très-misérable, et le thermomètre placé sous sa langue dépassait à peine $+ 32°$!

Le soleil était chaud, l'atmosphère assez calme, aussi fut-ce avec surprise que je constatai que la température de l'air était de $— 9°$.

Nous restâmes près de deux heures au sommet pour faire les expériences dont je parlerai plus loin. Au repos, je me sentais parfaitement bien, quoiqu'il me fût impossible de prendre la moindre nourriture. (P. 16.)

La seconde ascension se passa beaucoup mieux. La nuit aux Grands-Mulets fut bonne ; un temps magnifique rendait la marche facile :

Nous n'éprouvâmes presque pas de malaises, si ce n'est un sommeil de plomb

en montant la pente qui conduit au Dôme. Jamais je n'ai rien éprouvé de pareil; et je suis sûr d'avoir dormi en marchant. Mais arrivé sur l'arête, l'air frais et les frictions de neige sur le front firent passer cette congestion.

Je me sentais beaucoup mieux qu'à la première ascension. J'avais même de l'appétit et je pus manger quelques morceaux avec plaisir. Cependant l'essoufflement au moindre mouvement était toujours intense. L'un de nos compagnons éprouva de fortes nausées, une inappétence complète, mais n'eut pas de vomissements. (P. 18.)

Après cette description générale, M. Lortet passe à l'analyse des troubles que présentent les différentes fonctions. Et, au début, il a soin de dire :

A peine appréciable en allant de Lyon à Chamounix, c'est-à-dire en passant d'une hauteur de 200 mètres à une altitude de 1000 mètres, leur dérangement est, au contraire, très-sensible de Chamounix aux Grands-Mulets (de 1050 mètres à 3050 mètres), plus sensible encore des Grands-Mulets (3050 mètres) au Grand-Plateau (3932 mètres) ; enfin ce désordre devient très-remarquable du Grand-Plateau aux Bosses-du-Dromadaire (4,556 mètres), et au sommet de la Calotte du mont Blanc (4810 mètres).

Nous allons donc passer en revue les variations que subissent la respiration, la circulation et la température intérieure du corps, prise sous la langue aux différentes altitudes, soit pendant la marche, soit après un temps de repos convenable. (P. 20.)

Respiration : Depuis Chamounix jusqu'au Grand-Plateau (de 1050 mètres à 3932 mètres), les troubles de la respiration sont peu marqués chez ceux qui savent marcher dans les hautes montagnes, qui tiennent la tête baissée pour diminuer l'orifice laryngien, qui respirent la bouche fermée, en ayant soin de sucer un corps inerte, tel qu'une noisette ou un petit morceau de quartz, ce qui augmente notablement la salivation et empêche le dessèchement des voies aériennes. De Chamounix au Grand-Plateau, le nombre des mouvements respiratoires est à peine modifié ; nous trouvons au repos vingt-quatre par minute, comme à Lyon et à Chamounix ; mais du Grand-Plateau aux Bosses-du-Dromadaire et au sommet, nous trouvons trente-six mouvements par minute. La respiration est très-courte et très-gênée, même quand on reste immobile ; il semble que les muscles soient enraidis, et que les côtes soient serrées dans un étau. Au sommet, le moindre mouvement amène de l'essoufflement ; mais après deux heures de repos ces malaises disparaissent petit à petit. La respiration redescend à vingt-cinq par minute, mais elle reste toujours pénible. (P. 20.)

M. Lortet a étudié avec l'anapnographe de Bergeon et Kastus les modifications de l'amplitude de sa respiration ; les deux tracés ci-dessous en donnent une idée très-complète ; dans tous les deux, l'aire GFED représente l'inspiration, l'aire DCBA, l'expiration.

En comparant le tracé de la figure 1, pris à Lyon, avec le suivant, pris au sommet du mont Blanc, après une heure et demie de repos, on voit que la quantité d'air inspiré et expiré au sommet du mont Blanc est beaucoup moindre qu'à Lyon.

Circulation: Pendant l'ascension, quoique la marche soit excessivement lente, la circulation est accélérée d'une façon extraordinaire. A Lyon, étant au repos et à jeun, le nombre moyen de mes pulsations est de soixante-quatre par minute. En montant de Chamounix au mont Blanc, il s'élève progressivement,

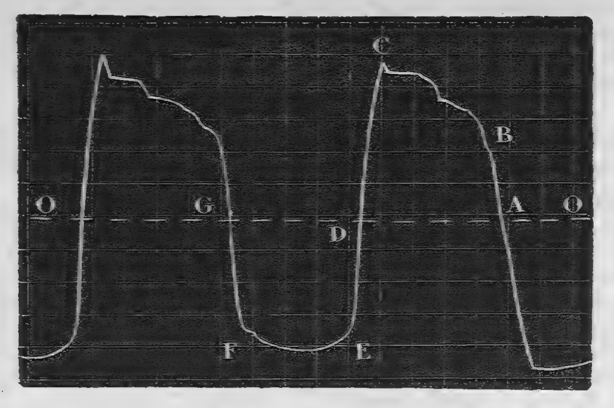


Fig. 1. — Lortet. Tracé respiratoire pris à Lyon (200m).

suivant les altitudes, à 80, 108, 116, 128, 136 ; et enfin, en grimpant la dernière arête qui conduit des Bosses-du-Dromadaire au sommet, à 160 et quelquefois davantage. Ces arêtes, il est vrai, sont des plus raides, elles ont de quarante-cinq à cinquante degrés d'inclinaison ; mais la lenteur de la marche est

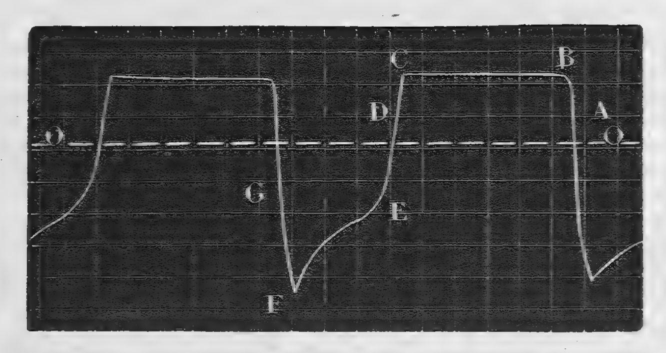


Fig. 2. — Lortet. Tracé respiratoire pris au sommet du mont Blanc (4810m après une heure de repos.

très-grande. On fait en général trente-deux pas par minute et souvent bien moins quand il faut tailler continuellement des marches. Le pouls est fébrile, précipité et misérable. On sent que l'artère est presque vide. La moindre pression arrête le courant dans le vaisseau. Le sang doit passer très-rapidement dans les poumons, rapidité qui augmente encore la mauvaise oxygénation qu'il a subie déjà, à cause de la raréfaction de l'air. Il n'a pas le temps de recevoir

convenablement l'action de l'oxygène, et il n'a pas le temps non plus d'expulser entièrement son acide carbonique. A partir de 4500 mètres, les veines des mains, des avant-bras et des tempes sont distendues. La face est pâle, avec une légère teinte de cyanose, et tout le monde, même les guides acclimatés à ces hautes régions, ressentent une lourdeur de tête et une somnolence souvent très-pénibles, dues probablement à une stase veineuse dans le cerveau, ou à un défaut d'oxygénation du sang.

Même après deux heures d'un repos complet au sommet et à jeun, le pouls reste toujours entre 90 et 108 pulsations par minute. (P. 23.)

Nous reproduisons, à titre d'exemples fort curieux, les tracés sphygmographiques suivants (fig. 3, 4, 5) qui, pris par M. Chauveau de Lyon, lors de son ascension de 1866, offrent toutes les garanties de sûreté désirables. Le guide Cupelain, qui les a fournis, est un jeune homme des plus vigoureux, qui paraît n'éprouver absolument rien du mal des montagnes.

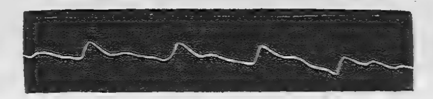


Fig. 3. — Cupelain : Chamounix (1000m).

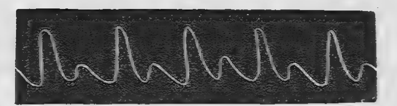


Fig. 4. — Grands Mulets (3000m) à minuit, une demi-heure avant le départ.

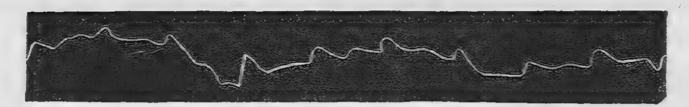


Fig. 5. — Sommet du mont Blanc (4810m).

Pour M. Lortet, qui souffrit, comme nous l'avons vu, les changements furent bien plus considérables encore.

Température. — Nous arrivons au point sur lequel M. Lortet a porté le plus d'attention, et qui sert de base à sa théorie du mal des montagnes. Je continue à citer textuellement :

Le thermomètre était placé sous la langue, l'orifice buccal étant toujours hermétiquement fermé, et la respiration ne s'effectuant que par le nez.... L'instrument a toujours été laissé en place pendant quinze minutes au moins. (P. 31.)

A jeun, *pendant la marche*, la décroissance de la température est,

suivant M. Lortet, *à peu près proportionnelle* à l'altitude à laquelle on se trouve. C'est ce que montre le tableau suivant :

LORTET : **Température.**

LIEUX	ALTITUDE	PREMIÈRE ASCENSION		DEUXIÈME ASCENSION		TEMPÉRATURE DE L'AIR		NOMBRE DE PULSATIONS EN MARCHANT
		IMMOBILE	MARCHANT	IMMOBILE	MARCHANT	PREMIÈRE ASCENSION	DEUXIÈME ASCENSION	
Chamonix.	1050	36,5	36,3	37,0	35,3	+ 10,1	+ 12,4	64
Cascade du Dard. . .	1500	36,4	35,7	36,3	34,3	+ 11,2	+ 13,4	70
Chalet de la Para. .	1605	36,6	34,8	36,3	34,2	+ 11,8	+ 13,6	80
Pierre-Pointue. . .	2049	36,5	33,3	36,4	33,4	+ 13,2	+ 14,1	108
Grands-Mulets. . . .	3050	36,5	33,1	36,3	33,3	— 0,3	— 1,5	116
Grand-Plateau. . .	3932	36,3	32,8	36,7	32,5	— 8,2	— 6,4	128
Bosse du Dromadaire	4556	36,4	32,2	36,7	32,3	— 10,3	— 4,2	136
Sommet du mont Blanc.	4810	36,3	32,0	36,6	31,0	— 9,1	— 3,4	172

Ainsi, pendant les efforts musculaires de l'ascension, la température du corps peut baisser, lorsqu'on s'élève de 1050 à 4810 mètres, de quatre à cinq degrés. Dès que l'on s'arrête pendant quelques minutes, la température remonte brusquement tout près de son chiffre normal. . . . .

Depuis mon retour à Lyon, j'ai constaté qu'en montant rapidement une des nombreuses rampes à escalier qui conduisent à Fourvières ou à la Croix-Rousse, on a régulièrement un abaissement qui varie presque toujours de trois à sept dixièmes de degré. (P. 32.)

C'est à cet abaissement de la température du corps que M. Lortet attribue tous les accidents du *mal des montagnes*. Nous reproduirons au chapitre III cette théorie et les objections qu'elle a suscitées.

Le même jour où MM. Lortet et Marcet souffrirent si gravement pendant l'ascension, M. Ch. Durier[1] les suivait, marchant pour ainsi dire dans leurs traces. Chose curieuse, ni ses compagnons ni lui n'éprouvèrent de troubles :

Nous étions trois, trois compagnons de tempérament tout à fait différent : l'un d'eux était un jeune garçon de quinze ans, le plus jeune voyageur — du moins à ma connaissance — qui soit jamais monté au mont Blanc. Eh bien ! aucun de nous n'a ressenti le plus léger malaise, pas même d'essoufflement. (P. 66.)

[1] *Histoire du mont Blanc.* — Paris, 1873.

A quoi tenait cette différence d'impression? se demande M. Durier. Et il donne à cette question une réponse pleine de sagacité, dont nous aurons plus tard à faire notre profit.

Je terminerai la revue des principales ascensions au mont Blanc par celle de M. Albert Tissandier[1]; elle est surtout intéressante parce que son auteur, étant un aéronaute, a pu comparer ses sensations avec celles qu'il éprouva en ballon ; il n'a rien ressenti de fâcheux :

A la hauteur de 4400 mètres, la respiration commence à devenir quelque peu haletante et pénible, mais je supporte sans trop de douleur l'effet de la raréfaction de l'air. Mes deux guides m'observent à ce moment et me disent que souvent les voyageurs, à cette altitude, prennent un teint particulier ; parfois leurs yeux se troublent et les forces leur manquent ; il faut alors les hisser à grand'peine jusqu'en haut, ou redescendre, suivant le degré d'énergie de l'explorateur.

C'eût été pour moi une grande douleur que d'être obligé de rétrograder. Il m'est arrivé d'atteindre en ballon des hauteurs á peu près égales à celles du mont Blanc sans être incommodé ; mais l'ascension en montagne, lente et pénible, ne ressemble en rien à celle que l'on exécute si vite et sans fatigue dans la nacelle aérienne.

L'ascension du mont Blanc, si redoutée avant l'intrépide tentative de Jaques Balmat, et que les souffrances de de Saussure, puis la catastrophe du docteur Hamel, avaient entourée d'une effrayante renommée, est devenue de nos jours fréquente, vulgaire presque. En 1873, soixante voyageurs sont montés au sommet du géant des Alpes, parmi lesquels sept femmes et un garçon de quatorze ans, le plus jeune qui ait encore fait l'ascension, nommé Horace de Saussure. Depuis l'illustre ancêtre de ce courageux enfant, j'ai compté sur la liste encore incomplète donnée par M. Besançon[2], liste qui va jusqu'à la fin de 1873, 828 ascensions, dont 27 faites par des femmes. La dernière, exécutée par une Anglaise, Mrs Straton, prouve une étrange audace ; elle a eu lieu le 31 janvier 1876; la voyageuse a trouvé sur la cime un froid de — 24 degrés. Mais l'immense majorité de ces expéditions ne présente aucun intérêt scientifique : ce sont de simples excursions de touristes, souvent fort imprudemment conduites. Aussi le mont Blanc, dont les « mountaineers » de profession parlent avec un certain dédain, semble-t-il s'en venger ; il y est arrivé plus d'accidents graves que dans tout le reste des Alpes. Une de ces catastrophes, la plus terrible de toutes, n'est peut-être pas sans quelques rapports avec notre sujet.

[1] *Ascension du mont Blanc. La Nature*, 10 oct. 1874.

[2] *Le mont Blanc et Chamounix.* Genève ; sans date.

Le 6 septembre 1870, neuf guides et trois voyageurs arrivèrent au sommet du mont Blanc; ils n'en purent redescendre, et périrent le lendemain dans la neige. On a retrouvé dans la poche de l'un d'eux, M. Beau[1], un papier rendant compte de leurs souffrances :

Nous avons passé la nuit dans une grotte creusée dans la neige, abri bien peu confortable; *je fus malade toute la nuit.*

La plupart des ascensionnistes récents du mont Blanc, dont les Clubs alpins nous ont conservé les récits, ne disent rien du mal des montagnes. Ils s'étendent fort longuement sur les préparatifs de départ, les incidents minutieux de la route, les joies du retour, mais gardent un silence complet sur les phénomènes physiologiques. Et ce que je dis du mont Blanc est vrai de toutes les autres ascensions, même des montagnes qui rivalisent avec lui de hauteur. J'ai parcouru, page à page, les journaux des Clubs alpins anglais, suisse, italien, autrichien, français; j'ai lu patiemment des centaines de monotones récits, et n'y ai pu trouver que bien peu de faits se rapportant à notre étude; je vais les indiquer chronologiquement.

Le 13 août 1857, M. Hardy[2] fait l'ascension du Finsteraar-horn (4275^{m}) :

Wellig (l'aubergiste de Œggischhorn), se considérant comme insulté par nos plaisanteries, partit en avant pour arriver le premier au sommet. Mais à peine avait-il fait une centaine de pas, qu'il tomba comme si on lui avait tiré un coup de fusil. Ellis, qui venait après lui, pensa qu'il se reposait, et marcha tranquillement jusqu'à lui ; mais, quand je vins, je m'aperçus que c'était plus sérieux. Ses yeux étaient tournés en haut, sa bouche ouverte, et il ressemblait singulièrement à un poisson. Je ne savais que faire ; mais Croz adopta une bizarre mode de traitement.... Il le mit assis et le secoua si vigoureusement en arrière et en avant, qu'après quelques oscillations, il revint de son évanouissement, se releva et alla rejoindre Fortunatus. (P. 299.)

Peut-être est-il permis d'hésiter à rapporter au mal des montagnes cette subite syncope ; mais dans le récit de Tuckett[3], le doute n'est pas possible.

Il s'agit d'une ascension à la Grivola (3960^{m}), faite en juin 1859 ; une avalanche a menacé d'emporter les voyageurs :

Chabot, un des guides, se plaignait de sensations pénibles dans la poitrine et

[1] *Alpine journal,* t. V, p. 189. — London, 1872.
[2] *Ascent of the Finsteraar-horn. — Peaks, Passes and glaciers.* — London, 1859, p. 283-308.
[3] *A night bivouac on the Grivola. — Peaks, Passes and glaciers.* — 2e série, t II. — London, 1862.

l'estomac, de perte d'appétit, de vertiges, de nausées, de maux de tête, résultant en partie de la peur et de la fatigue, et en partie aussi, peut-être, dus à la rareté de l'air, car nous avions atteint la hauteur de 12 028 pieds (3665 mètres). (P. 297.)

A mes yeux, malgré la complication d'une absorption un peu exagérée de boissons alcooliques, l'influence de l'air raréfié est incontestable encore dans l'observation suivante[1] :

Un jeune Anglais d'environ vingt-quatre ans, la véritable image de la force et de la santé, passa le Weissthor par Macugnagna. Il n'était pas très-accoutumé aux ascensions difficiles.... et pour se donner des forces but fréquemment de l'eau et du cognac.... Le résultat s'en fit bientôt voir. Les guides durent le tirer avec des cordes, dans un état d'épuisement complet.... En fait, comme il me l'a dit, il n'a aucune notion de la manière dont il surmonta les difficultés pour arriver au sommet; tout le temps, il était dans une stupeur inerte. (P. 349.)

M. Kennedy[2], l'un des plus intrépides et des plus anciens ascensionnistes des Alpes, fut lui-même pris dans une de ses courses, non la première, tant s'en faut, ni la plus difficile, ni la plus élevée; il montait à la Dent-Blanche (4365^{m}) et se trouvait encore loin du sommet :

Un poids extraordinaire semblait s'être appesanti sur moi, empêchant mes mouvements. Mes jambes, bien que je ne me sentisse pas fatigué, refusaient de travailler avec leur vigueur habituelle, et j'étais resté très en arrière ; mais l'air pur et raréfié qui soufflait sur nous et la vue du pic de la Dent-Blanche commencèrent à me raviver. (P. 36.)

Dans certains récits, ce n'est qu'incidemment, et comme perdus dans une phrase, qu'on voit apparaître les symptômes du mal des montagnes :

Guides et voyageurs étaient comme épuisés, s'arrêtant souvent pour respirer.... (P. 107.)[3].

La neige était dure, il fallait entailler des pas, et plus d'une fois les voyageurs durent s'arrêter pour reprendre leur respiration perdue. (P. 166.)[4].

Dans d'autres cas, ils sont plus clairement indiqués, décrits même.

Ainsi, en 1864, Craufurd Grove[5] monte au Studer-joch (3260^{m});

[1] Schweitzer. *The Breithorn* (3735), *ascension en* 1861. — *Peaks, Passes and glaciers.* — 2e série, t. I. — London, 1862.

[2] *Ascent of the Dent Blanche* (9 juin 1862). *The Alpine journal,* t. I. — London, 1864.

[3] Stephen (Leslie), *The Jungfrau-joch and Viescher-joch. Alp. journ.*, t. I. — London, 1864.

[4] Reg. Somerled Macdonald, *Passage of the Roththal Sattel* (août 1864). *Alp. journ.*, t. II. — London, 1866.

[5] *The Studer-Joch. Alp. journ.*, t. I. — London, 1864.

une marche trop accélérée rend malades voyageurs et guides :

Perru, qui craignait les avalanches, nous fit marcher d'un pas inusité dans les Alpes, qui produisit rapidement des signes de détresse dans tout le groupe ;... mais le robuste enfant de Zermatt n'en tint compte, et ne ralentit son pas que lorsque les lois outragées de la respiration réclamèrent leurs droits, et le forcèrent à s'arrêter complétement pour prendre haleine.... Nous arrivâmes au sommet ; mais notre joie était singulièrement affaiblie par cette circonstance que presque tous nous étions malades. Quelques-uns de nous qui s'étaient reposés du rude métier de montagnards près des lacs Italiens, avaient absorbé en excès figues et raisins. Le résultat de ce régime, en présence de notre marche sur la glace, fut trop douloureux pour que j'en puisse parler. Les guides n'étaient guère dans un moins piteux état ; il avaient bu la veille de l'eau-de-vie du Grimsel. (P. 368.)

Le récit de l'ascension de Visconti[1] au mont Rose, en août 1864, est plus net encore et plus intéressant :

La raréfaction de l'air nous incommoda beaucoup, soit par la difficulté de respirer, soit par la diminution de la pression atmosphérique sur les vaisseaux. Pour ces raisons et à cause de la rapidité des pentes, les jambes et les poumons se fatiguent vite ; mais quelques instants de repos leur rendent rapidement leurs forces. . . . .
. . . .
Un peu avant d'atteindre la cime (4640 mètres), nous rencontrâmes les voyageurs anglais qui descendaient. L'un d'eux était pâle et bouleversé ; il me raconta que la raréfaction de l'air lui avait occasionné de fréquents vomissements qui l'avaient affaibli ; ajoutez à cela que la tête lui tournait. Je me sentais simplement de la faiblesse d'estomac, avec de fréquentes nausées. (P. 160.)

Enfin, je rapporterai une observation faite par M. Gamard[2], pendant son ascension à la Jungfrau (4170^{m}), le 24 août 1874, observation dont nous aurons à tenir compte par la suite :

Nous nous enfonçons dans le flanc même de la montagne ; l'air manque, et comme nous l'avons éprouvé au mont Rose et au mont Blanc, ce n'est pas au sommet que nous souffrons de cette raréfaction, mais dans des endroits où le vent arrive difficilement.

A 9 heures et demie, nous nous reposons de nouveau ; nous sommes à 3750 mètres environ. (P. 216.)

Mais, je le répète, les observations de cet ordre sont extrêmement rares. Ball ne dit pas un mot du mal des montagnes dans son utile travail intitulé *Suggestions for Alpine travellers*[3], où

[1] *Ascension al monte Rosa nell' agosto* 1864. *Bulletino del Club alpino italiano*, t. VI, p. 157-163 ; 1873.
[2] *Ascension de la Jungfrau ; Annuaire du Club alpin français*, Ire année, 1874, p. 211-219. — Paris, 1875.
[3] *Peaks, Passes and glaciers*, p. 482-509. — London, 1859.

il énumère les dangers des ascensions et les principales observations de physique et d'histoire naturelle qu'on y peut faire.

Est-ce à dire que tout soit changé depuis de Saussure et qu'aujourd'hui on puisse faire impunément des ascensions alors pénibles et douloureuses ? Il y a dans cette hypothèse, si étrange qu'elle paraisse au premier abord, une part de vérité sur la valeur de laquelle nous reviendrons plus tard. Mais il suffit, pour s'assurer que l'immunité n'est rien moins que générale et complète, d'interroger avec soin les ascensionnistes, même ceux qui, dans leurs récits, ne parlent pas de troubles physiologiques, même ceux qui les nient. Au reste, M. Joanne, qui a tant lu, tant vu, tant entendu, résume parfaitement, dans son excellent guide en Suisse[1], ce qui est sur ce point d'observation commune :

La légèreté et la grande rareté de l'air dans les Alpes, ainsi que l'énergie avec laquelle il accélère l'évaporation, occasionnent à de certaines hauteurs des phénomènes physiologiques très-remarquables, tels que la diminution notable ou la perte de l'appétit, le dégoût pour les aliments, les nausées, la somnolence, l'anhélation, la céphalalgie, la défaillance, etc. : quelques-uns de ces accidents obligent même divers individus à rebrousser promptement chemin, dès qu'ils ont atteint 3000 mètres ; les mulets, à 3400 mètres environ, sont tellement essoufflés qu'ils font entendre une sorte de cri plaintif. Du reste, les forces se réparent, en pareil cas, aussi promptement et, en apparence, aussi complétement qu'elles ont été épuisées. La seule cessation du mouvement semble, dans le court espace de trois ou quatre minutes, les restaurer si parfaitement, qu'en se remettant en marche, on ne ressent plus aucune fatigue. (P. 93.)

Mais si ces accidents sont si fréquents, pourquoi n'en pas parler, ou tout au moins ne pas les signaler dans des récits souvent prolixes et surchargés de détails sans intérêt ?

Tout d'abord, il faut l'avouer, on en a tellement exagéré l'importance et la gravité, que les voyageurs pris seulement d'anhélation et de palpitations en arrivent volontiers à nier la réalité même d'un mal qu'ils redoutaient tant à l'avance. J'ai trouvé, sous ce rapport, dans le récit des ascensions faites en août 1859 à la Grivola (3960^{m}), par M. Ormsby[2], une indication intéressante. Il montait la cheminée, dans une situation fort périlleuse, lorsqu'il eut une sensation d'éblouissement fort singulière, et il ajoute :

J'avais lu tant d'histoires terribles des étranges effets de l'air raréfié sur

[1] Paris, 5e éd. ; 1874.

[2] *Ascent of the Grivola.— Peaks, Passes and glaciers.* — 2e série, t. II. — London, 1862.

l'homme dans les grandes altitudes que je commençai à me trouver très-nerveux.... C'était le moment d'être pris par l'apoplexie, la catalepsie, le saignement d'yeux ou tout autre des terribles symptômes. (P. 333.)

En second lieu, la plupart des touristes dont les narrations remplissent les journaux Alpins n'ont guère, dans leurs ascensions, de soucis scientifiques ; ils grimpent pour grimper, ou encore pour voir, ou souvent pour dire qu'ils ont grimpé et vu. C'est généralement ce dernier sentiment qui dicte leurs récits, et c'est pour cela qu'on les voit chaque année à la recherche de quelque *horn*, *spitze*, ou *joch*, jusqu'alors inaccessible ou simplement oublié : virginité souvent redoutable à saisir, dont ils vont se disputer la stérile conquête.

Enfin, le point d'honneur est intervenu ; on craint presque le ridicule du mal des montagnes, comme celui du mal de mer. Autrefois, on en recherchait sur soi-même les symptômes, on se vantait volontiers de les avoir éprouvés, comme d'un danger mystérieux bravé ; aujourd'hui on se refuse à les observer, à les avouer surtout ; parfois on les nie.

Un des voyageurs de notre époque qui ont le plus pratiqué la montagne, M. le comte Henry Russell[1], s'exprime sur ce point de la manière la plus nette et en même temps la plus autorisée :

J'ai le regret de constater que quelques-unes des autorités les plus sérieuses de l'Alpine Club ont été jusqu'à nier complétement une chose comme le phénomène pénible connu dans tous les pays sous le nom de « mal des montagnes », ou encore le déclarent une exception, un effet de la fatigue, de l'épuisement. Il est vrai que des poumons très-privilégiés peuvent s'élever très-haut et continuer à respirer confortablement. De même, il est des voyageurs qui sont exempts du mal de mer, et nous pourrions ainsi nier tout aussi bien ce mal que l'autre. Le mal des montagnes est une souffrance qui a été éprouvée sur le globe entier (même entre les tropiques), dans les Andes, sur l'Altaï, sur l'Himalaya.... partout. Aucun animal n'en est exempt, à une certaine hauteur ; et quant à moi, je confesse humblement que je puis à peine respirer au sommet du mont Blanc ; en fait, nous étions tous malades, plus ou moins, y compris les guides. Sur la Calotte, où la pente est très-douce, pas un de nous ne put faire plus de trente-quatre pas sans s'arrêter longtemps. Et ce n'était pas de fatigue, puisque nous redescendîmes en deux heures aux Grands-Mulets, en très-bonne santé et pleins de vigueur. (P. 243.)

Combien peu de « mountaineers », d' « alpinistes », auront le courage d'un semblable aveu !

[1] *On Mountains, and on Mountaineering in general. Alpine journal,* t. V, p. 241-248, 1872.

§ 6. — **Les Pyrénées.**

Les montagnes les plus élevées des Pyrénées n'atteignant pas 3500^m, les malaises dus à la diminution de pression ne peuvent s'y faire sentir que dans des conditions exceptionnelles. Aussi, les voyageurs sont-ils le plus souvent muets sur ce sujet, et quand ils en parlent, c'est d'ordinaire pour déclarer qu'ils n'ont rien éprouvé.

Le premier auteur qui ait fait mention de phénomènes physiologiques observés dans les Pyrénées est Robert Boyle[1], mais il ne donne que des renseignements de seconde main :

Un gentilhomme instruit avait fait l'ascension du pic du Midi au mois de septembre. Je lui demandai s'il avait trouvé l'air du sommet aussi fort pour la respiration que celui d'en bas. Il me répondit que non, et qu'il était forcé de respirer plus fréquemment et plus brièvement qu'à l'habitude. Et comme je pensais que peut-être cela venait du mouvement, je lui demandai si cette gêne avait cessé après son arrivée au sommet; il me répondit : Oui, évidemment, car nous n'aurions pu rester plusieurs heures sur ce sommet avec une pareille difficulté de respirer. (P. 2039.)

Pendant le dix-huitième siècle, un assez bon nombre d'ascensions furent faites, pour des motifs scientifiques, sur diverses montagnes pyrénéennes, et non des moins élevées. Le livre de Dralet[2] donne un résumé intéressant des faits anciennement observés :

Les artistes qui furent employés, en 1700, à construire sur le Canigou une pyramide pour déterminer la méridienne, n'éprouvèrent aucun accident. MM. Vidal et Reboul ont passé trois jours et trois nuits au sommet du pic du Midi de Bigorre, sans aucune incommodité ; j'en ai été toujours exempt, ainsi que mes compagnons de voyage, non seulement au même pic, mais aussi sur les crêtes les plus élevées qui séparent la France de l'Espagne.... Cependant quelques voyageurs ont été incommodés dans les Pyrénées, même à des hauteurs médiocres. En 1741, M. Plantade, célèbre astronome du Languedoc, mourut à l'âge de 70 ans à côté de son quart de cercle, sur la Hourquette des Cinq-Ours (1244 toises). Le comte Dolomieu, au mois d'août 1782, faillit y subir le même sort; il fut atteint d'un violent accès de fièvre qui l'empêcha d'arriver au sommet du pic[3]; M. de Puymaurin et M. Lapeyrouse, ses compagnons de voyage, se trouvèrent un instant presque sans pouls. M. Dusaulx, avant d'arriver au plateau du pic du Midi, sentit des éblouissements, et une sorte de faiblesse, sans que ses compagnons éprouvassent de tels accidents. Ces faits paraissent prouver, selon l'opinion de M. de Saussure, que la nature a fixé, pour le tempérament de chaque individu, la hauteur

[1] *Philosophical transactions*, 12 sept. 1670.

[2] *Description des Pyrénées*, 2 vol. — Paris, 1813.

[3] Il eut même, suivant Gondret (*Mém. concernant les effets de la pression atm. sur le corps humain*; Paris, 1819), un crachement de sang. (P. 44.)

à laquelle il peut s'élever sans inconvénient et sans danger. Mais il est à remarquer que certains voyageurs ont été incommodés à une hauteur médiocre, quoiqu'habitués à parcourir impunément des montagnes d'une très-forte élévation. (T. I, p. 38.)

Depuis ce temps, le voyageur naturaliste Ramond fit le premier l'ascension du mont Perdu (3350^{m}). Son récit[1], fort intéressant, donne la preuve d'une sagacité peu commune; lui, du moins, se garde bien de nier ce qu'il eut le bonheur de ne pas ressentir :

Nous respirions sans peine cet air si léger et qui ne suffit plus à la respiration de bien d'autres. J'ai vu des personnes vigoureuses être forcées de s'arrêter à des hauteurs beaucoup moindres...... Ici nous n'avons rien éprouvé de semblable; seulement l'état du pouls indiquait une altération indépendante de l'agitation du voyage : le repos ne le calmait point. Pendant tout le temps que nous restâmes au sommet, il demeura petit, sec, tendu, et accéléré dans le rapport de 5 à 4 ; cette fièvre, qui est nerveuse, annonçait assez le malaise que nous aurions ressenti à une hauteur plus grande ; mais au point où nous en étions affectés, elle produisait un effet tout opposé à celui qu'un degré de plus aurait produit. Bien loin d'occasionner de l'abattement, il semblait qu'elle soutenait mes forces, et quelle excitât mes esprits. Je suis persuadé que nous lui devons souvent cette agilité de membres, cette finesse des sens, cet élan de la pensée qui dissipent tout à coup l'accablement de la fatigue et l'appréhension du danger; il ne faut peut-être pas chercher ailleurs le secret de l'enthousiasme qui perce dans les récits de tous ceux qu'on a vus s'élever au-dessus des hauteurs ordinaires. (P. 84.)

De même, Arbanère[2] déclare n'avoir, au sommet du mont Perdu, en 1821 :

Éprouvé aucun effet de la raréfaction de l'air, ce trouble, cette anxiété, ces maux de cœur qui fatiguent, accablent souvent à une pareille hauteur. (T. II, p. 85.)

Le 11 vendémiaire an XI, Cordier et Néergaard firent l'ascension de la Maladetta. L'un d'eux fut sérieusement atteint; voici du reste comment le célèbre géologue raconte cet accident[3] :

Peu après, l'arête devient tout à fait impraticable, et il faut entrer sur le glacier. Nous étions alors à près de 3000^{m}. M. Néergaard se trouva tellement incommodé de maux de cœur et d'étourdissements, occasionnés par la rareté de l'air, qu'il lui fut absolument impossible d'aller plus loin. Je ferai remarquer, en passant, que *le mal des montagnes* attaque presque toujours le petit nombre des personnes qu'une disposition naturelle ou accidentelle y rend sujettes, à la hauteur de 2600 à 3000^{m}, c'est-à-dire, immédiatement après les limites de la haute végétation. (P. 266.)

[1] *Voyage au sommet du mont Perdu. — Ann. du Muséum d'histoire naturelle*, t. III, 1804.

[2] *Tableau des Pyrénées françaises*, 2 vol. — Paris, 1828.

[3] *Rapport fait au Conseil des mines sur un voyage à la Maladetta, par la vallée de Bagnères-de-Luchon. — Journal des Mines*, messidor an XII, t. XVI, p. 249-282; 1804.

Cordier et son guide continuèrent leur route et arrivèrent au sommet sans paraître avoir éprouvé de symptômes fâcheux ; du moins le récit n'en porte pas de traces.

Un voyageur dont nous avons eu déjà à parler, qui fit de nombreuses ascensions, notamment dans les Pyrénées, Parrot[1], a fixé tout spécialement son attention sur les variations de son pouls, aux diverses hauteurs. Je transcris ses importantes observations :

Mon pouls au sommet du mont Perdu battait 110 fois à la minute, et quelques jours auparavant, dans ma première tentative pour atteindre cette montagne, il battait 100 fois. Sur le haut de la Maladetta, j'avais 103 pulsations, et quelques jours avant, à Bagnères de Luchon (628^m), je n'en comptais que 70. Ces variations sont dans un rapport régulier avec celles de la hauteur ; elles concordent avec les observations que j'ai déjà faites sur mon pouls dans diverses montagnes. Ainsi, mes pulsations, qui sont de 70 à la minute au niveau de la mer, s'élèvent à 75 pour une hauteur de 1000^m, à 82 pour 1500^m, 90 pour 2000^m, 95 pour 2500^m, 100 pour 3000^m, 105 pour 3500^m, 110 pour 4000^m. (P. 216.)

Après lui, je ne trouve guère à citer que le récit de M. de Franqueville[2], qui le premier a atteint la plus haute cime des Pyrénées, le pic de Néthou (3400^m).

L'ascension eut lieu le 18 et le 19 juillet 1842. Les voyageurs arrivèrent sur le glacier du Néthou, tout près du but de leur ascension :

Nous nous attendions tous à éprouver quelques-uns des phénomènes dus à la raréfaction de l'air, et qui généralement viennent encore ajouter aux difficultés des grandes ascensions. Il n'en fut pourtant pas ainsi. Seul, après avoir fait quelques pas sur le glacier, M. de Tchihatcheff fut atteint de nausées assez violentes pour être obligé de s'arrêter de temps en temps et de se coucher sur la neige. Quelques instants de repos suffisaient pour le remettre entièrement, et lui permettre de continuer sa route. Quant aux autres, ni les guides ni moi ne ressentîmes rien de particulier. Nous n'eûmes même pas à combattre cette lassitude, ce malaise si pénibles, qui accompagnent, dit-on, si souvent la présence de l'homme dans ces régions élevées qui n'ont pas été faites pour lui.

Ici se termine ce que nous avons pu trouver, dans les récits des ascensionnistes aux Pyrénées, d'intéressant pour notre sujet. Un document curieux nous montre que rien d'important n'a jamais attiré leur attention. Le comte Russell-Killough, qui connaît si merveilleusement les Pyrénées, a publié un recueil[3] des ascensions au

[1] *Ueber die Beschleunigung des menschlichen Pulses nach Maaszgabe den Erhöhung des Standpunktes über der Meeresfläche.* — *Froriep's Notizen*, Bd X ; 1825.

[2] *Voyage à la Maladetta.* — Paris, 1845.

[3] *Recueil des ascensions au pic du Néthou*, de 1842 (1re ascension) jusqu'à 1868. — *Bull. de la Société Ramond*, 1872, p. 15-24, 195-198 ; et 1873, p. 49-58.

pic du Néthou, depuis celle dont nous venons de parler, jusqu'en 1868. Dans cet intervalle, il y en a eu environ deux cents, comprenant à peu près mille personnes, dont vingt-deux dames.

Le livre qui reçoit les notes personnelles de chaque touriste n'indique absolument rien, sinon la vanité générale des motifs qui ont déterminé tant de personnes à cette pénible ascension. On n'y parle même pas des troubles physiologiques. Seul, le comte Russell (24 août 1863) dit : « pas de crachement de sang ». (P. 50.)

Enfin, je citerai dans ce paragraphe quelques observations[1] faites dans une ascension du Mulahacen, le pic culminant de la sierra Nevada d'Espagne; elles contiennent l'ébauche d'une bizarre théorie :

Les effets produits par la rareté de l'air sur les poumons et sur le corps ne s'étaient pas fait sentir tant que nous étions restés sur les mules. Mais maintenant qu'il fallait faire des efforts musculaires, un plus grand déplacement d'énergie est nécessaire que dans une atmosphère dense. L'équilibration de l'air, qui supporte les os comme l'eau fait pour les poissons, manque, et les muscles sont obligés de soulever un poids plus considérable ; de là l'épuisement. (P. 157.)

§ 7. — Le Caucase, l'Arménie, la Perse.

Caucase. — Les ascensions des sommets élevés du Caucase sont tout à fait récentes. Klaproth[2], dans le récit de son voyage au mont Caucase et en Géorgie, exécuté de 1807 à 1808, disait :

Personne n'a monté l'Elbrouz ; et les Caucasiens croient que l'on ne peut pas parvenir à sa cime sans une permission particulière de Dieu. (T. I, p. 131.)

Une tentative très-sérieuse pour monter au sommet du Kasbek ou Mquinvari (5030^{m}) fut faite le 17 septembre 1812, par Engelhard et Parrot[3].

Les deux voyageurs campèrent à la limite des neiges perpétuelles ; Parrot entreprit seul l'ascension du sommet. Il eut à surmonter les difficultés ordinaires de la montagne; mais, ajoute-t-il :

Le plus gênant pour moi fut une lassitude singulière qui me forçait à me reposer tous les cinquante pas; elle provenait moins d'une oppression de la poitrine que d'une faiblesse totale des muscles qui me prenait soudainement, et qui passait bientôt quand je m'étais arrêté seulement une demi-minute. Elle était géné-

[1] Ford, *A Hand-Book for travellers in Spain*. — London, 1847.
[2] *Voyage au mont Caucase et en Géorgie*. — Paris, 1823.
[3] *Voyage à la vallée du Terek*. — *N. Ann. des Voyages*, t. LI, p. 273-324, 1831.

ralement suivie d'une sensation agréable et étrange, comme si je me fusse trouvé dans un nouvel élément, auquel mon corps, fait pour la pression plus forte des régions inférieures, était supérieur en force. Une suite inévitable de l'air extrêmement raréfié qui nous entourait était l'accélération de la circulation du sang et celle de la respiration ; mais le malaise et le vertige ne tourmentaient ni moi ni mes compagnons. En revanche, j'observai chez eux et chez moi un affaiblissement de plusieurs organes des sens ; nous étions obligés de parler très-haut pour nous entendre mutuellement ; nous éprouvions de la peine à parler, non que la respiration nous manquât, mais parce que la langue avait perdu de sa souplesse ; l'œil même semblait avoir moins d'activité, et l'on aurait dit qu'une cause intérieure l'empêchait de voir nettement et à une grande distance. (P. 302.)

Parrot fut obligé de s'arrêter à 2168 toises de hauteur ; il y passa la nuit avec ses gens, mais dut redescendre le lendemain sans avoir pu atteindre la cime, qu'il estime à 2400 toises.

En 1829, une expédition militaire et scientifique s'approcha du mont Elbrouz (5620^{m}) ; Kupffer[1] et les autres savants qui en faisaient partie résolurent de tenter l'ascension du géant du Caucase.

Le 22 juillet 1829, ils arrivèrent sur ses flancs, à la hauteur des neiges perpétuelles :

Nous étions obligés de nous arrêter presque à chaque pas. La raréfaction de l'air est telle que la respiration n'est plus capable de rétablir les forces qu'on a perdues ; le sang s'agite violemment et cause des inflammations dans les parties les plus faibles.... Tous mes sens étaient offusqués, la tête me tournait, j'éprouvais de temps en temps un abattement indéfinissable dont je ne pouvais devenir maître.... Nous étions ici à une hauteur de 14000 pieds au-dessus du niveau de la mer. (P. 33.)

Ils n'étaient cependant pas arrivés au niveau du mont Rose ; ils ne purent atteindre plus haut, mais un de leurs guides s'éleva jusqu'au sommet.

Sjögrun[2], qui fit, le 26 mai 1836, l'ascension de « la montagne la plus élevée du Caucase » (son récit n'est pas clair, mais je crois que c'est du Kazbek qu'il veut parler), ne dit absolument rien des troubles physiologiques.

Mais Radde[3], bien que son ascension de l'Elbrouz le 10 août 1865 soit restée incomplète, à cause du mauvais temps, indique nettement dans son récit l'influence de l'air raréfié :

Devant nous se dressait, toute blanche, la cime de la montagne. Un fort vent d'ouest s'était élevé. Nous nous arrêtâmes un certain temps ; la fatigue, les tour-

[1] *Voyage dans les environs du mont Elbrous dans le Caucase*, entrepris en 1829. — Rapport fait à l'Ac. imp. des Sc. de St-Pétersb. — St-Pétersb., 1830.

[2] *Voyage dans les vallées centrales du Caucase, fait en* 1836 *et* 1837. — *N. Ann. des Voyages*, t. CXVIII, p. 276-328, 1848.

[3] *Reisen und Forschungen im Kaukasus*, 1865. — *Peterm. Mitth.*, t. XIII, 1867.

noiements de tête se faisaient sentir fortement chez mes deux compagnons et chez moi-même ; nous éprouvâmes également une étrange faiblesse des genoux, qui arrivait rapidement à nous interdire tout mouvement. . . . .

Nous nous arrêtions de plus en plus souvent ; les vertiges, la faiblesse des genoux, augmentaient ; une fatigue atroce « entsetzlich » m'écrasait. . . . . .

Nous étions arrivés à 14925 pieds (4557^m). (P. 102.)

Dans leur voyage, en 1868, Douglas W. Freshfield, Moore et Tucker[1], accompagnés d'un guide de Chamounix, Fr. Devouassoud, avec qui ils avaient parcouru les Alpes, exécutèrent les deux difficiles ascensions du Kasbek et de l'Elbrouz.

Le 1er juillet, ascension du Kasbek ; nuit passée à 3300^m ; excepté la fatigue excessive qui força l'un d'eux de se coucher et faillit en empêcher un autre d'atteindre le sommet, nos voyageurs ne notent rien qui nous intéresse.

Le 31 juillet, ascension de l'Elbrouz ; ils ne se plaignent que du froid.

Gardiner, Grove, Walker et Knubel[2] s'élevèrent, le 28 juillet 1874, au sommet de cette dernière montagne. Le 27, ils campèrent à 11300 pieds, et le lendemain atteignirent la cime :

Toute la compagnie souffrit de la rareté de l'air. En 1868, pas un ne s'en était ressenti ; le pic alors atteint était probablement celui de l'Est ; mais la différence en hauteur, s'il y en a une, est trop légère pour expliquer l'immunité de la première expédition.

C'est sans doute du voyage de Douglas Freshfield et autres qu'il s'agit ici.

Dans la même publication se trouve un second récit, par Gardiner[3], de la même ascension :

Depuis le col, aucune difficulté sérieuse ne se présenta. Cependant Grove, Knubel et moi, nous souffrîmes plus ou moins du côté de la respiration, ce qui nous força à nous arrêter souvent ; nous avions aussi ce que j'ai entendu appeler par un guide suisse « un coup aux genoux ». Walker saigna du nez, mais n'eut pas d'autre accident. (P. 119.)

Arménie. — Le plateau de l'Arménie qui, sur une vaste étendue,

[1] *Journey in the Caucasus, and Ascent of Kasbek and Elbruz. — The journal of the royal geogr. Society*, t. XXXIX, p. 50-76 ; London, 1869. — *Itinerary of a Tour in the Caucasus; Alpine Journal*, t IV, p. 160-166 ; London 1870. — *The Caucasus, by C. Tucker* (*Ibid*, 421-25).

[2] *Itinerary of a Tour in the Caucasus made by* F. Gardiner, F.-C. Grove, A.-W. Moore and A. Walker, with Peter Knubel of St-Niklaus. — *Alp. Journal*, t. VII, p. 100-103 ; London, 1874.

[3] *An ascent of Elbruz. — Alpine Journal*, t. VII, p. 113-124 ; London, 1875.

dépasse la hauteur moyenne de 3000m, est dominé par le double sommet de l'Ararat, qui était bien connu des anciens, et dont parlent même, comme chacun sait, les livres bibliques.

Mais si Noé a pu facilement, selon la légende, descendre du sommet où l'avaient porté les eaux — qui, si elles avaient couvert le grand Ararat, n'auraient laissé au-dessus d'elles que ses voisins l'Elbrouz et le Démavend avec les plus hautes cimes des Andes et de l'Himalaya, — l'ascension de la montagne sainte présente des difficultés autrement sérieuses. Cependant, Pierre Bergeron, Parisien, dans son traité des Tartares[1], nous donne le curieux renseignement suivant :

Elmacin, historien arabe, conte que l'empereur Héraclius faisant la guerre en Perse, et passant par la ville de Thémanin bâtie, ce dit-on, par Noé au sortir de l'arche, avait eu la curiosité de monter sur cette montagne (Ararat, qui est le Taur, comme l'Écriture l'appelle, et les Grecs Périarde, aujourd'hui Chielder), pour y chercher ce qui restait de ce vaisseau. Haiton dit aussi que de son temps on en voyait aussi quelques pièces de reste. (P. 66.)

C'est encore à Robert Boyle[2] que nous devons le premier récit d'une ascension sur l'Ararat, avec indication des malaises que devait entraîner le séjour sur un lieu si élevé :

M'étant rencontré avec un ecclésiastique qui avait visité les hautes montagnes d'Arménie (sur l'une desquelles, à cause de sa grande élévation, les gens du pays disent que l'*Arche* s'est arrêtée), je lui demandai si sur les sommets il avait éprouvé quelque difficulté à respirer...... Il me répondit qu'il n'avait pu aller jusqu'au faîte de ces montagnes, à cause des neiges; que cependant, il avait remarqué qu'il était obligé de respirer plus souvent.

Je lui demandai si cette difficulté lui paraissait purement accidentelle, ou particulière à lui; mais il m'affirma qu'elle était générale sur les hauts lieux et que cela était de commune observation.

Ce même ecclésiastique éprouva de semblables accidents respiratoires en faisant l'ascension d'une montagne des Cévennes. (P. 2038.)

Le célèbre botaniste Tournefort[3], qui tenta l'ascension le 11 août 1701, ne put aller jusqu'à la limite des neiges :

L'un, dit-il, se plaignait qu'il ne pouvait respirer; pour moi, je n'avais jamais tant appréhendé que quelque vaisseau lymphatique ne se cassât dans mon corps. (T. II, P. 316.)

La première ascension complète dont nous possédions le récit

[1] *Voyages faits en Asie, dans les XII. XIII. XIV et XV siècles.* — La Haye, 1735.
[2] *Philosophical transactions.* 12 sept 1670.
[3] *Relation d'un voyage du Levant,* 2 vol. — Paris, 1717.

est celle qui a été exécutée en 1829 par Parrot, le savant voyageur que nous avons déjà si souvent cité; il dut s'y reprendre à trois fois.

Le 12 septembre[1], il ne monta que jusqu'à 3850^m (p. 130) ; le 18, il arriva à 5000^m (p. 146). Enfin, le 26, il alla passer la nuit à 4300^m; il ne se plaint que d'un sentiment de fatigue et de tendance au sommeil (p. 156). Le lendemain, départ pour le sommet :

Nous dûmes laisser un de nos paysans, malade, au campement. Deux autres, harassés par l'ascension des glaciers, se couchèrent sur le sol, puis redescendirent. Sans nous laisser abattre, nous poursuivîmes notre route. (P. 157.)

Le reste du récit montre que leurs fatigues furent extrêmes; mais aucun autre symptôme n'est signalé. A trois heures un quart, ils arrivent au sommet : « Mon premier désir et ma première jouissance, dit Parrot, fut le repos » (p. 159).

Les difficultés dont l'opinion populaire entourait une ascension qui paraissait un peu sacrilége, firent que le récit si circonstancié et si véridique de Parrot fut révoqué en doute. Mais, quelques années plus tard, d'autres explorateurs, Avtonomoff, le 5 août 1834[2], Behrens, le 20 juillet et le 9 août 1835[3], Abich, le 29 juillet 1845[4], vinrent en démontrer toute l'exactitude. Je n'ai pu me procurer le récit complet de ces ascensions, et les comptes rendus qu'en donnent les journaux de géographie ne parlent d'aucun trouble physiologique.

Mais cela ne prouve rien, car ils gardent le même silence en analysant[5] la célèbre ascension du colonel russe Chodzko, et cependant il résulte d'une communication que m'a fait l'honneur de m'adresser le savant géodésien qu'ils ne furent rien moins que négligeables.

Voici ce récit, tel que me l'apporte une lettre écrite en français par M. le général Chodzko : je le reproduis intégralement, en remerciant vivement de son obligeance mon éminent correspondant. L'expédition comprenait cinq officiers et soixante soldats :

L'ascension a commencé le 31 juillet (11 août) 1850. Du 4 (16) au 6 (18) août, nous sommes restés sous les tentes au pied du sommet du mont Ararat. Le 5 (17) août, pendant la nuit, abrités sous les rochers à pic, nous restâmes de huit

[1] *Reize zum Ararat.* — Berlin, 1834.
[2] *Magazin für die Litteratur des Auslandes;* 1835, n° 34.
[3] *Gazette russe de l'Académie;* 1838, n°s 21, 23.
[4] *Journal le Caucase;* 1846, n°s 1, 5, 7.
[5] *Journal le Caucase;* 1850, n° 50. — Traduit in *Nouv. Ann. des Voyages,* t. CXXX, p. 334-349; 1851.

à onze heures du soir au milieu de nuages électriques. Les éclairs qu'on voit d'en bas traverser les nuages comme de simples rubans minces avaient des dimensions énormes; la foudre grondait au moment même où apparaissait la lumière électrique : c'était comme le feu des coups de plusieurs canons tirés en même temps. Après trois heures d'orage, un coup de tonnerre très-fort détacha une partie des rochers, qui tombèrent avec fracas.

L'orage une fois terminé, survinrent des ouragans de neige. C'est avec beaucoup de peine que nous pûmes dérouler et étendre un peu plus haut deux petites tentes en toile, sous lesquelles nous restâmes du 16 au 19 août. Le 18 août, après avoir atteint le sommet, nous y fixâmes une croix peinte en noir. Deux tentes furent dressés dans des trous pratiqués dans la neige. Le 19, les observations des distances zénithales furent commencées (l'Ararat fut observé de 122 points trigonométriques) ; elles furent finies tant bien que mal le 24 août au matin. Nous partîmes à midi, et descendîmes rapidement.

Quant aux symptômes physiologiques, je me sentais la tête très-lourde; il me semblait qu'un cercle de fer me serrait le crâne au-dessus des oreilles. Il fallait marcher très-lentement pour pouvoir respirer à l'aise. La nuit, quand nous dormions enveloppés de pelisses, si le froid pénétrant au travers nous réveillait, les mouvements que nous faisions pour les serrer autour de nous nous coupaient la respiration. Le troisième jour la tête est devenue plus libre; mais il était toujours impossible de marcher avec vitesse.

Dans leur voyage en Arménie, Radde et Sievers firent quelques ascensions assez élevées, l'une entre autres (le 28 juillet 1871), sur une montagne voisine du lac de Chara-Gol :

Vers 12,300 pieds, dit Radde[1], je dus m'arrêter. Ma respiration était difficile, mes genoux étaient absolument brisés. La fièvre commençait à me prendre...... Sievers rampa courageusement en avant. Je restai couché complétement apathique, pendant deux heures, attendant son retour. Au bout de deux heures environ, il revint, aussi malade que moi, tout à fait épuisé et brisé. (P. 177.)

Parmi les nombreux voyageurs qui ont sillonné en tous sens l'Asie Mineure, je n'en ai trouvé qu'un, Hamilton[2], ayant fait l'ascension du mont Argée (3840m), le 30 juillet 1837. Il ne dit absolument rien des troubles physiologiques.

Perse. — Mais j'ai rencontré deux récits d'ascensions au volcan éteint de Démavend (5620m), près de Téhéran.

Le 8 septembre 1837, Taylor Thomson[3] alla camper sur les flancs de la montagne, à 2000m. Le lendemain matin, départ :

Je ne montais pas depuis plus d'une heure, quand deux de mes hommes refu-

[1] *Reisen im Armenischen Hochland in Sommer* 1871. — 2e partie : Ouest. — *Peterman's Mittheilungen*, 1873.

[2] *Notice d'un voyage dans l'Asie-Mineure, fait en* 1837. — *N. Ann. des Voyages*, t. LXXXI, p 153-196; 1839.

[3] *An Account of the Ascent of Mount Demavend, near Tehran*, in sept. 1837. — *Journ. of the R. geograph. Soc.*, t. VIII, p. 109; 1838.

sèrent d'aller plus loin..... Je continuai avec les deux autres, mais l'un d'eux se plaignit tellement de maux de tête, de palpitations de cœur, que je dus lui permettre de redescendre. Je retins l'autre jusqu'au cratère, par prières et menaces ; le froid était excessif..... La température était 56° F., le baromètre mesurant 15 P, 05.... ce qui correspond à 14 700 pieds (4480m).

L'autre ascension fut exécutée le 24 et le 25 juillet 1858, par des membres des diverses missions européennes à Téhéran. L'attaché anglais, R. F. Thomson, en a donné un récit détaillé [1].

Le campement de nuit eut lieu le 24 juillet au village de Rina (3920m) ; le thermomètre marquait 0° centigrade. Départ, le matin du 25 juillet, de bonne heure :

L'ascension de cette portion de la montagne amena une grande fatigue, spécialement à cause de la raréfaction de l'air qui commença à se faire sentir à nos poumons. . . . .

La dernière partie de l'ascension du Bamshi Bend fut extrêmement pénible à cause de la raréfaction de l'air. Nous éprouvions des nausées et de violents maux de tête, et une grande difficulté à respirer, même au repos. M. de Saint-Quentin, de la mission française, et M. Castelli, Sarde, qui nous accompagnaient, étaient attaqués comme nous. Nous étant reposés un peu, et nous trouvant moins fatigués, et nous commençâmes nos observations. Elles nous indiquèrent l'énorme hauteur de 21,520 pieds (6560m) [2].

Nous restâmes au sommet environ une heure et demie. (P. 15.)

§ 8. — **Asie centrale.**

Dans la dernière moitié du treizième siècle, un voyageur illustre, Marco Polo [3], fut le premier Européen qui pénétra jusque dans les régions élevées des plateaux de l'Asie centrale. Le célèbre Vénitien dut, sans nul doute, comme le prouvèrent les témoignages de ceux qui cinq cent cinquante ans après ont suivi ses traces, éprouver sur lui-même, observer sur ses compagnons et ses bêtes de somme, les phénomènes dont nous donnerons bientôt de multiples descriptions ; mais son récit n'en porte point l'indication :

Si chevauche l'en.... toutefois par montaignes, et monte l'en tant que on dit que c'est le plus haut lieu du monde. (P. 150.) . . . .

Nul oisiau volant n'y a, pour le haut lieu et froit qui y est. E si vous di que

[1] R. F. Thomson and lord Schomberg H. Kerr, *Journey trough the mountainous Districts North of the Elbruz, and Ascent of Demavend, in Persia.* — *Proceedings of the royal geograph. Soc.*, t. III, p. 2-18 ; 1859.

[2] Erreur considérable : la hauteur du Démavend est 5620m.

[3] *Le livre de Marco Polo, citoyen de Venise,* rédigé en français sous sa dictée, en 1298, par Rusticien de Pise. — Publié par Pauthier. Paris, 1865.

le feu, pour cel grant froid, n'y est pas si cler, ne de tel chaleur comme en autre lieu, ne ne si pueent pas si bien cuire les viandes. (P. 133.)

Ce lieu, le plus élevé du monde, est, comme l'a montré plus tard le voyageur anglais, Wood, le plateau de Pamir, par 4700^{m}.

Des voyageurs chinois, bien plus anciens encore, avaient visité ces hauts lieux. Tel le pèlerin Fa-Hian[1], qui, en l'année 399, traversa la passe de Karakorum (5690^{m}). Tel le célèbre Hiouen-Thsang[2] qui, venant de Chine, rencontra « une suite de montagnes et de vallées et des pics d'une hauteur prodigieuse. Il franchit les montagnes noires » (p. 55). M. Stanislas Julien déclare qu'il s'agit des passes de l'Hindou-Kouch et du plateau de Pamir. Mais dans les récits très-succincts qui nous ont été conservés, il n'est nulle question d'observations physiologiques.

La description « des provinces Wei et Zzang » de la Chine occidentale, qui, publiée en chinois dans l'année 1792, a été traduite en français par Klaproth[3], contient quelques indications qui, d'après ce que nous verrons plus loin, se rapportent évidemment aux accidents de la décompression.

C'est ainsi qu'en parlant des affections qui atteignent les voyageurs dans ces pays de hautes montagnes, l'auteur chinois parle de :

La chaleur du corps, *les maux de tête*, et autres maladies propres au climat. (P. 23.)

Plus loin, dans un itinéraire remarquable par la précision des mesures et l'abondance des détails, il indique l'influence des plantes empoisonnées, auxquelles nous verrons jouer bientôt un grand rôle dans les récits des voyageurs; ici, c'est la rhubarbe qu'on accuse :

En partant de *Djédo* on voyage de montagnes en montagnes, elles s'étendent au loin, mais elles ne sont pas très-hautes. La rhubarbe y abonde, elle exhale une odeur très-forte qui incommode beaucoup le voyageur. (P. 188.)

Enfin, après les plantes, viennent les exhalaisons du sol :

Plus loin à l'ouest de *Djaya*, on traverse une grande montagne neigeuse ; le chemin est très-raide. Les neiges accumulées ressemblent à une vapeur argentée.

[1] Purdon, *On the Trigonometrical Survey and Physical Configuration of the valley of Kashmir*. — *J. of R. Geogr. S.*, t. XXXI, p. 14-30 ; 1861.

[2] *Mémoires sur les contrées occidentales*, traduites du sanscrit en chinois, en l'an 648, par Hiouen-Thsang, et du chinois en français par Stanislas Julien, t. I. — Paris, 1857.

[3] Klaproth, *Description du Thibet*, traduite du chinois. — Paris, 1831.

Le brouillard que la montagne exhale pénètre dans le corps et rend les Chinois malades. (P. 210.). . . . .

De *Lang Thang Keou*, on suit la vallée, on monte.... La neige gelée rend la route glissante et très-dangereuse. Il y a là aussi des exhalaisons pestilentielles. (P. 217.)

Pendant le dix-septième et le dix-huitième siècle, quelques voyageurs européens, missionnaires, marchands, militaires ou aventuriers, visitèrent, soit dans l'Empire chinois, soit dans celui du grand Mogol, les régions élevées de l'Asie centrale.

Je n'ai trouvé que dans le récit d'un seul, le jésuite portugais Antonio d'Andrada[1], l'indication nette d'accidents qu'on puisse attribuer à l'effet de l'air des hauts lieux. Ce missionnaire eut le courage de traverser presque seul l'Himalaya pour se rendre du Cachemire au Thibet :

Là commencent d'énormes montagnes que l'on ne peut franchir en moins de 20 jours. On n'y trouve rien que des rochers presque toujours couverts de neige.....

Tant par le malaise que par une certaine exhalaison pestilentielle qui sort de la terre, tout à coup on éprouve une révolution violente et intérieure qui vous fait périr en un quart d'heure. J'attribue ces morts subites à la cessation de la chaleur naturelle interceptée par le grand froid, et surtout à la mauvaise nourriture. (P. 13.)

Mais quant à lui et à ses deux compagnons, il ne se plaint que du froid extrême, de congélations partielles, d'insensibilité aux mains et aux pieds, et de « perte d'appétit » (p. 16), seul trouble qu'on puisse rapporter à la diminution de pression. Ils avaient cependant passé par les régions les plus élevées, puisqu'ils « arrivèrent au sommet de toutes ces montagnes où se voit le lac d'où sortent la rivière du Gange et une autre qui arrose les terres du Thibet » (p. 16). C'est évidemment du lac Manasarowar que veut ici parler d'Andrada.

Le docteur Bernier[2], qui suivit en mars 1663 le grand Mogol Aureng-Zeb, de Lahore à Cachemire, eut à traverser une montagne élevée, encore couverte de neige; mais il ne parle que du froid, et de même, en relatant les voyages des marchands qui vont au Kashgar et au Thibet à travers les hautes chaînes, il ne fait allusion qu'aux difficultés de la marche.

Les récits du père Verbiest[3] qui, en 1683, accompagna l'empereur de Chine dans la Tartarie orientale, ceux du père Gerbillon[4], de 1688 à 1698, ne mentionnent aucune souffrance.

[1] *Voyages au Thibet;* trad. par Parraud et Billecoq. — Paris, l'an IV.
[2] *Voyages de Fr. Bernier,* t. II, lettre IX. — Amsterdam, 1699.
[3-4] *Description de la Chine* du P. du Halde, t. IV. — Paris, 1735.

En octobre 1714, le père H. Desideri partit de Lahore pour aller à Cachemire, « à travers le *Caucase*, » comme on a longtemps appelé l'Himalaya. Le 17 mai 1715, il entreprit le terrible voyage du Thibet, et arriva le 25 juin à Ladak. Il n'accuse de ses souffrances que la fatigue, le froid, les vents furieux, la réverbération du soleil sur la neige[1].

Dans la seconde moitié du dix-huitième siècle commencent les relations politiques des Anglais avec le Boutan et le Thibet. En 1774, Bogle fut envoyé auprès du grand Lama par le gouverneur des Indes; J. Stewart[2], qui a raconté son voyage, n'y fait aucune allusion à l'influence des montagnes.

En 1783, Samuel Turner[3] fut chargé de la même mission. Il traversa les hauts défilés du Boutan, et séjourna plusieurs mois au Thibet. Il insiste fréquemment sur la hauteur extraordinaire de ces régions, sur les vents froids et desséchants qui y règnent. La seule observation qu'on puisse rapporter à l'influence fâcheuse de l'altitude est la suivante; Turner se trouvait alors au pied du Chumalari :

Lorsque nous eûmes mis pied à terre à Terma, je ressentis un violent mal de tête, ce qui m'engagea à me jeter sur un tapis;... je souffrais et n'avais nulle envie de parler. (T. I, p. 312.). . . . .

J'attribuai ce mal de tête, qui m'avait fait beaucoup souffrir, au changement de climat. (P. 314.)

Le capitaine Thomas Hardwicke[4] fit, en 1796, un voyage à Srinagar dans le petit Thibet, pendant lequel il paraît s'être élevé à d'assez grandes hauteurs; mais il ne rapporte aucun accident qu'on puisse attribuer au mal des montagnes.

Mais avec le célèbre voyage de Moorcroft[5] qui, en 1812, traversa l'Himalaya pour atteindre le lac de Manasarowar, commence, pour ainsi dire, une ère nouvelle. Désormais, tous les récits des voyageurs garderont d'une manière nette, et souvent avec détails, la trace des souffrances que l'altitude ajoutait à la fatigue et au froid.

Il partit le 26 mai, mais ce n'est que le 4 juin qu'on trouve, dans son journal, l'indication d'un malaise spécial :

[1] *Lettre du 16 avril 1710. Lettres édifiantes.* Nouvelle édition, t. VII, p. 430-435. — Paris, 1781.

[2] *An account of the Kingdom of Thibet,* par J. Stewart. — *Phil. transactions,* t. LVII, p. 465-492; 1777.

[3] *Ambassade au Thibet et au Boutan,* trad. de Castéra, 2 vol. — Paris, 1800.

[4] *A journey to Sirinagur.* — *Asiatic researches,* t. VI, p. 309-381; 1801.

[5] *A journey to Lake Manasarovara in Un-dés, a Province of little Tibet.* — *Asiatic researches,* t. XII, p. 375-534. — Calcutta, 1816.

Dans la dernière partie de ce jour, dit-il, je trouvai que ma respiration s'accélérait en proportion des difficultés de l'ascension, et j'étais souvent obligé de m'arrêter pour attendre que les battements de mon cœur se calmassent. Mon compagnon souffrait de cette oppression depuis trois jours, mais je n'avais jusque-là rien ressenti. (P. 397.)

Moorcroft n'indique pas la hauteur à laquelle il était alors parvenu; il parle seulement d'un village nommé Niti où il établit alors son campement. Il voulut de là, au bout de quelques jours, faire l'ascension des montagnes voisines :

Le 26 juin, au matin, je partis. La montée fut très-pénible à cause de la grande difficulté de respirer; de cinq personnes, une seule fut capable de m'accompagner.... Je ne pouvais faire plus de cinq à six pas sans m'arrêter pour respirer.... Ayant tourné tout à coup le dos au vent, je ressentis un sentiment de plénitude à la tête, avec vertiges, et des menaces d'apoplexie; aussi je me couchai rapidement à terre. Peu de temps après, ma respiration haletante se ralentit, l'action du cœur devint moins violente, et je pus me relever. Mais malgré les précautions de ma marche, je fus attaqué deux fois des mêmes symptômes, si bien qu'il me sembla prudent de renoncer à monter plus haut.

La nécessité impérieuse de s'arrêter pour respirer tous les quatre on cinq pas ne se fit sentir que pendant l'ascension. Quand l'action impétueuse du cœur était ralentie par le repos, la difficulté de respirer disparaissait. Elle n'apparaissait pas à la descente, même lorsque je courais; mais plusieurs fois, à notre campement, au moment de m'endormir, j'ai été interrompu par cette sensation..... Bien que je n'éprouvasse ni chaud ni froid excessifs, mes mains, mon cou et ma figure étaient rouges, la peau était sensible, et le sang sortit de mes lèvres, ce qui ne m'était jamais arrivé. (P. 408.)

Il revient à plusieurs reprises sur l'oppression qui précède le sommeil :

Le 30 juin, au lever du soleil, le thermomètre était à 46° F..... Je me réveillai de très-bonne heure, et fus aussitôt pris de difficultés de respirer avec grande oppression au cœur, phénomènes qui disparurent après quelques inspirations profondes. Comme je me rendormais, la suffocation reparut, et la respiration devint fort anxieuse; cependant, quand l'air se réchauffa un peu, cette affection diminua. (P. 412.). . . . .

Le soir, bien que pressé du besoin de sommeil, il me fut impossible de m'endormir à cause des étouffements qui survenaient aussitôt, et que pouvaient seules calmer quelques respirations profondes. (P. 415.)

Le 3 juillet, Moorcroft atteignit Daba. Le reste du voyage ne l'exposa plus au mal des montagnes, sur la cause et la nature duquel il ne hasarda aucune hypothèse.

En 1819, Moorcroft, en compagnie de Trebeck, commença une longue expédition qui devait, en 1825, se terminer par la mort des

deux voyageurs. Je n'ai, dans la publication faite par Wilson[1] des résultats de ce voyage, rien trouvé qui ait rapport au mal des montagnes. En racontant sa traversée de la passe de Chang-La, la plus haute qu'il ait encore franchie, Moorcroft ne se plaint que d'un froid terrible (t. I, p. 428). A la passe de Parang-La, qu'il estime être à près de 19 000 pieds, il dit seulement :

Mon cheval était tellement incapable de marcher, bien avant d'atteindre le sommet, que je dus en descendre et l'abandonner à son sort. (T. II, p. 54.)

Trois ans après le premier voyage de Moorcroft, Fraser[2], qui accompagnait l'agent politique envoyé à l'armée du général Martindale, remontait en 1815 les bords de la Jumna. Il traversa les montagnes, de Jumnotree à Gangotree, par des passes très-élevées, mais dont il ne donne pas la hauteur.

C'est le 16 juillet que, pour la première fois, apparaissent dans son récit des accidents qu'on peut rapporter au mal des montagnes :

Nous éprouvâmes beaucoup d'ennuis, dit-il, de la part des coolies..... On avait grand'peine à les mettre en mouvement, et ils s'asseyaient après quelques pas, bien qu'on eût beaucoup allégé leur charge en prévision des difficultés de la marche. Ils nous dirent qu'ils étaient frappés par le *Serân*, ou poison de l'air venant des fleurs qui couvraient le sol (primevères, polyanthus, bruyères); et quoique leur position fût peut-être en partie due à la boisson et aux excès, et qu'il fallût aussi accorder quelque chose à la paresse, leur apparence générale indiquait encore autre chose. En arrivant, ils jetaient à terre leurs paquets, et s'étendaient malades; le plus souvent ils dormaient aussitôt, et bien peu pensaient à manger auparavant. On nous dit que la course du lendemain serait plus rude encore. (P. 440.)

En effet, le lendemain les souffrances redoublèrent :

Il faisait excessivement froid.... Beaucoup des Mewatee et les Goorkha étaient presque incapables d'avancer, chacun se plaignant du *bîs*, ou vent empoisonné. Je pensai alors que ce poison supposé n'était autre que l'effet de la raréfaction de l'air due à notre grande élévation, qui le rend incapable de suffire à notre respiration ; il ne peut distendre les poumons; j'ai été amené à cette supposition d'après mes propres sensations. Je fus obligé de faire des efforts extraordinaires pour continuer ma course, et pouvais à peine trouver la force de marcher. J'éprouvai une grande oppression respiratoire, comme si je manquais d'air. Nous n'aurions certainement pas pu supporter cela longtemps. . . . .
. . . .

[1] *Travels in the Himalayan provinces of Hindustan and the Penjab ; in Ladakh and Kashmir; in Peshawar, Kabul, Kunduz and Bokhara;* 2 vol. — London, 1851.

[2] *Journal of a Tour through Part of the snowy Range of the Himalaya mountains, and to the sources of the Rivers Jumna and Ganges.* — London, 1820. Ce voyage fut publié en abrégé dans les *Asiatic researches*, t. XIII, p. 170-249. — Calcutta, 1820.

Enfin nous arrivâmes au sommet du Bumsooroo-ke-Ghât, où il n'y avait plus que de la mousse et des lichens.... Aussitôt que l'un de ceux qui se plaignaient d'oppression se couchait, il s'endormait, mais il ne paraissait pas prudent de le laisser s'abandonner ainsi. Manger quelques bouchées faisait un peu de bien, mais rien ne soulageait sérieusement, et personne n'était à l'abri de cette débilité générale. C'était le point le plus haut de notre voyage. (P. 442.). . . . .
. . . .

De là nous eûmes à exécuter une série de montées et de descentes..... le long d'un sentier très-difficile et pénible à cause de la neige et des pierres roulantes; nous fûmes cruellement tourmentés par la difficulté de respirer, jusqu'à ce que nous arrivâmes à Chaiah-ke-Kanta. (P. 444.)

Ils n'étaient pas au bout de leurs souffrances. Dès le lendemain, il fallut exécuter de nouvelles ascensions :

Nous avions à nous plaindre de la difficulté du pays, du mauvais état de la route, et par-dessus tout de la fatigue artificielle due à l'oppression dont nous nous ressentions tous au plus haut point. (P. 449.)

En atteignant la gorge élevée de Bamsooroo, personne n'évita l'influence pernicieuse. Il était curieux de voir que ceux qui avaient ri de leurs compagnons se laissaient aller les uns de fatigue, les autres de malaise, malgré leurs efforts pour le cacher aux autres. Je crois que j'y échappai plus longtemps qu'aucun autre ; et cependant, après avoir passé cette gorge, quelques pas en montant me paraissaient un insupportable labeur, et même en passant sur les endroits à plat, mes genoux tremblaient sous moi, et j'éprouvais de temps en temps des nausées stomacales. Les symptômes produits sont très-variés ; quelques personnes souffrent de violents maux de tête ; d'autres ont des douleurs dans la poitrine, avec de l'oppression ; d'autres des nausées et des vomissements ; beaucoup sont accablés de somnolence et s'endorment même en marchant.

Mais ce qui prouvait que tout cela était l'effet de notre grande élévation, c'est que lorsque nous descendîmes, et atteignîmes les régions de la végétation, tous ces symptômes violents, toutes ces souffrances diminuèrent et disparurent. (P. 459.)

En 1816, 1817 et 1818, le capitaine Webb fit des efforts infructueux pour traverser l'Himalaya, et revoir le lac sacré de Manasarowar; les Tartares l'arrêtèrent en route. Ses observations ont été publiées dans un intéressant article de la *Quarterly Review* [1]; il en est qui nous touchent spécialement :

Sans élever le moindre doute, dit le rédacteur qui analyse les lettres de Webb, sur la difficulté de respirer éprouvée par M. Moorcroft dans son ascension du Ghaut, nous ferons observer qu'on est souvent monté plus haut sans rien éprouver de semblable; ce qui semble indiquer que ces effets dépendent beaucoup de l'état de la santé. Le capitaine Webb, cependant, confirme ces allégations, non-seulement par le témoignage de ses propres sensations, mais par celui des montagnards eux-mêmes, qui les éprouvent autant que les étrangers, et il nous assure que ni les chevaux ni les yacks n'en sont exempts. Les natifs nomment ce mal *Bis-*

[1] Vol. XXII, p. 415-430. — Londres, 1820.

kee-huwa, c'est-à-dire air empoisonné, et l'attribuent aux émanations de certaines fleurs ; il survient quand on marche ou quand on se fatigue.

« Tout le monde, dit notre voyageur, se plaignit de perte d'appétit pendant plusieurs jours après notre arrivée à Nitee. Pour moi, j'éprouvai exactement les sensations qui précèdent une attaque de fièvre, avec grande oppression, action exagérée du cœur et des viscères. Mais un de ceux qui m'accompagnaient souffrit une de ces attaques auxquelles sont sujets les habitants du Boutan, au commencement de la saison, et qu'ils considèrent comme directement produits par la *Bis-kee-huwa*. Il était descendu sur le bord de la rivière à la chute du jour, et quand il voulut remonter, il perdit l'usage de ses jambes et même sa connaissance ; cependant, il conservait encore quelque sentiment, mais il ressemblait pour moi à un homme frappé d'apoplexie. Les extrémités étaient froides, et après avoir vainement essayé de le ranimer par des frictions, par l'application de pierres chaudes dans les mains et à la plante des pieds pendant plusieurs heures, je m'avisai de lui donner un émétique; une grande quantité de « foam » fut chassée, et en deux ou trois jours il revint à la santé. Je crois que cette sécrétion de « foam » est un effet particulier de l'inhalation des vapeurs toxiques. (P. 420.) »

C'est à peu près vers la même époque que les frères Gérard commencèrent la célèbre série de leurs voyages à travers l'Himalaya.

En 1817 (27 août-14 octobre) premier voyage du capitaine Alexandre Gérard, de Soobathoo à Rarung, avec retour. Il fut accompagné pendant une partie de la route par le docteur Govan, dont nous aurons à parler plus loin. Son récit fut publié pour la première fois, d'après ses notes de voyage, par Lloyd en 1841 [1] (p. 191-267). Il n'y est nulle part question du mal des montagnes.

L'année suivante il se remit en route, en compagnie cette fois du docteur J. G. Gérard, son frère. Ils allèrent de Soobathoo à Shipke, avec retour à Soobathoo (22 septembre-22 novembre 1818). J'emprunte aux simples notes qu'ils ont publiées [2] ce qui touche à notre sujet :

2 *octobre*. Notre tente est placée à 15,095 pieds ; au col qui sépare Choara du Koonawur, il n'y a plus que quelques rares herbes avec un peu de mousse.... Pendant la nuit que nous y passons nous ressentons tous de violents maux de tête, dus probablement à la raréfaction de l'air, mais que les natifs attribuent à une plante toxique qui pousse en abondance aux grandes hauteurs. (P. 366.)

Le 7 octobre, traversée de la passe de Toongrung (13 729 pieds), aucun effet noté ; le 12 octobre, de même, à 13 518 pieds, à la passe qui sépare Koonawur des possessions chinoises. Le 16 octobre,

[1] *Account of Koonawur, in the Himalaya.* — London, 1841.

[2] 1re partie : aller. *Account of part of a journey through the Himalaya mountains.* — *The Edinb. Philos. journal*, t. X, p. 295-305 ; 1824. — 2e partie : retour. *Journal of an Excursion through the Himalaya mountains, from Shipke to tho Frontiers of Chinea, Tartary.* — *The Edinb., Journal of Science*, vol. I, p. 41-51 et p. 215-224 ; 1824.
Ces deux articles sont reproduits dans le *Journal of the Asiatic Society of Bengal*, t. XI, p. 363-391; 1842. C'est d'après cette publication que je cite.

campement à 14900 pieds, et le 18, ascension d'un pic montant à 19411 pieds (5915m) :

Violents maux de tête, nous laissant à peine la possibilité de faire des efforts.... Les natifs refusent d'avancer.... Pour dire la vérité, nous ne pouvions plus marcher nous-mêmes, tant nous souffrions de la tête, avec une faiblesse générale, et de vives douleurs dans les oreilles et la poitrine.... Le thermomètre n'était pas au-dessous de 22° F.... et cependant à cause du vent, mes mains furent tellement engourdies que je dus les frotter pendant un quart d'heure avant de pouvoir m'en servir. . . . .

Les voyageurs qui traversent le passage de Gangtung le représentent comme extrêmement difficile : ils se couvrent de vêtements pour se défendre contre un froid excessif, et ils se plaignent de terribles maux de tête et d'oreilles ; il y périt souvent des chèvres, des moutons et des hommes. (P. 377.)

Le 24 octobre, passage du Hungrung (14837 pieds) ; le 25, passage du Roonung (14508 pieds) ; aucune indication. Le 22 novembre, retour à Soobathoo.

Alexandre Gérard ne tarda pas à repartir pour un nouveau voyage. Cette fois, il s'agissait de remonter, si possible, jusqu'aux sources du Setlej, un des affluents de l'Indus, qui vient du lac Manasarowar. Le récit de ce voyage forme le deuxième volume d'une publication faite à Londres en 1840[1]. Il avait déjà été publié sous une forme plus succincte dans un journal scientifique d'Édinbourg, en 1826 et 1827[2]. L'une et l'autre narration sont extrêmement sobres en descriptions et particulièrement d'ordre physiologique. Je cite d'après le volume publié à Londres.

Le voyage commença le 6 juin 1821 ; Al. Gérard partit du pays de Rol, par 9 à 10000 pieds de hauteur. Il se borne à dire, au sommet de la passe de Shatool, par 15555 pieds (4738m), où nous verrons que son frère devait tant souffrir :

9 *juin.* — Nous ne dormions que très-peu, à cause des maux de tête et de la difficulté de respirer. (P. 15.)

A la passe de Boorendo :

16 *juin.* — Comme il arrive d'habitude à ces hauteurs, nous dormîmes à peine, fatigués par des maux de tête et une extrême difficulté à respirer. (P. 37.)

[1] Lloyd : *Narrative of a journey from Caunpoor to the Boorendo pass, with Captain's Alex. Gérard's account of an attempt to penetrate by Bekken to Garoo and the Lake of Manasarowara.* — London, 2 vol., 1840.

[2] Al. Gérard, *Account of a Survey of the valley of the Setlej River, in the Himalaya mountains.* — *The Edinb. Journal of Science,* t. V, p. 270-288, 1826, et t. VI, p. 28-50, 1827.

A la passe de Keoobrung, 18313 pieds, il est un peu plus explicite :

24 *juin.* — J'éprouvai une grande difficulté à respirer, une grande faiblesse, mais sans mal de tête, bien que mes suivants souffrissent de cette impétuosité de la circulation signalée par M. Moorcroft : la température était de 46°.

Le 30 août, il fait l'ascension de la passe de Manerung à la hauteur énorme de 18612 pieds (5671m).

Nous montions très-lentement la montagne ; la respiration était laborieuse, et nous étions épuisés presque à chaque pas. La crête de la passe n'était pas visible, et nous ne savions quand finiraient nos maux : la route s'élevait suivant un angle de 30°. . . . .

Notre situation était différente de toutes celles que nous avions éprouvées ; elle ne peut être décrite. Bien avant d'arriver au sommet, notre respiration devint haletante et oppressée, et nous étions forcés de nous asseoir au bout de quelques pas ; encore pouvions-nous alors à peine inspirer une quantité d'air suffisante. Le moindre mouvement était accompagné de faiblesse et d'abattement intellectuel. Nous souffrîmes ainsi pendant 2 milles ; le dernier demi-mille était dans la neige perpétuelle. Au sommet, le baromètre marquait 15,300p, le thermomètre 36° F.

. . . .

Plusieurs de mes gens ne purent franchir la passe, à cause des maux de tête. La longueur et la difficulté de l'ascension, la rareté de l'atmosphère, la rigueur du climat, bien qu'en été, rendent ce passage formidable aux plus robustes individus. (P. 240.)

Le 29 septembre, il était arrivé à Kotgurh, fin du voyage.

Dans le premier volume de l'ouvrage publié par Lloyd, se trouve une lettre du docteur Gérard, relatant son voyage aux passes de Shatool et de Boorendo, dans le but de déterminer la limite des neiges perpétuelles. Elle est datée du lac Charamace, à 13800 pieds, le 18 août 1822.

A la hauteur de 15000 pieds, les mêmes accidents l'atteignirent, lui et ses compagnons de route :

On ne saurait décrire la fatigue extrême que nous occasionnèrent les 500 derniers pieds. Anxieux, malades, nous ne pouvions nous servir de nos bras pour briser un morceau de pierre d'un coup de marteau. La respiration était libre, mais insuffisante, nos jambes pouvaient à peine nous supporter, et nos visages étaient tirés comme si nous allions avoir la fièvre. . . . .

Tout mon monde était dans une misérable condition, je souffrais du mal de tête, et chacun se plaignait. (P. 308.)

C'était le 9 août, ils arrivèrent au sommet de la passe de Boorendo, à plus de 15500 pieds, le thermomètre étant à 37° :

En descendant, je ressentis les symptômes du mal de tête, et ils ne me quittèrent pas jusqu'après midi ; je sortis pour chercher des fleurs, mais je fus obligé de

rentrer au campement (12800ᵖ). Je me réveillai au point du jour non reposé par le sommeil. J'éprouvais le même sentiment de débilité et de langueur qu'en montant, mais moins fort (p. 315). . . . .

Ma visite m'a enlevé les doutes que j'avais sur les phénomènes de la neige nouvelle dans les passes en juillet et août, et je n'ai plus guère de raison pour refuser de croire aux récits singuliers que font les habitants du pied de la montagne sur les accidents qui quelquefois saisissent les voyageurs qui la traversent. Ils assurent que les phénomènes de somnolence et de débilité sont beaucoup plus à craindre dans la saison des pluies . . . .

Les gens qui vivent au pied de la montagne et qui respirent dans un air très-raréfié, ou qui sont accoutumés à monter leurs côtes escarpées, souffrent beaucoup moins que ceux qui habitent une zone inférieure dans une atmosphère plus dense ; mais ils connaissent très-bien ces effets, et décrivent leurs sensations avec une simplicité ingénieuse et très-intéressante. . . . .

Entre Koonawur (où le peuple semble né pour vivre et mourir dans des régions inaccessibles) et le versant indien des montagnes, nous voyageâmes longtemps sur les crêtes des montagnes, à une élévation positive de 16000ᵖ : je rencontrais chaque jour une foule de gens chargés de grains ; ils marchaient lentement, s'arrêtant souvent pour respirer, et ils semblaient souffrir d'une oppression uniforme. Je n'ai pas appris s'ils sont sujets à une indisposition semblable à celle que j'ai éprouvée, cependant cela doit être, et il est indiscutable que, à partir d'une certaine hauteur, les effets de l'air raréfié sur les fonctions de la vie animale sont permanents et que ni l'habitude ni la constitution ne peuvent triompher d'eux. (P. 320.). . . . .

Sandy et moi, dans notre excursion au pic de 19500ᵖ, quoique incapables de faire une douzaine de pas sans être épuisés, et enfin pouvant à peine nous mouvoir du tout, néanmoins nous allions mieux que les villageois qui nous accompagnaient, et résident à la hauteur de 12000 ᵖ. Dans l'intérieur du pays, là où le sol est remarquablement élevé, les symptômes les plus redoutables arrivent en traversant les montagnes. Entre Ladak et Yarkand, il m'a été parlé par un intelligent serviteur de M. Moorcroft des conséquences fatales du manque de précaution. Il dit que le passage de la rangée la plus élevée doit être fait à jeun, et recommande de fréquentes doses d'émétique pendant le voyage. Il m'a rapporté l'histoire d'un marchand russe bien portant, qui allait de Ladak à Lee pour voir M. Moorcroft, et qui a péri en traversant une des passes parce qu'il a fait un bon repas avant le départ. La mort, dans un tel cas, doit être proprement attribuée à la somnolence amenée par le froid et l'extrême rareté de l'air qui prédispose à l'inactivité et conduit le voyageur au dernier sommeil. (P. 325.). . . . .

Je fis une petite course sur les rochers, mais la sensation de plénitude à la tête me força de retourner. Depuis mon arrivée en ce lieu, j'étais plus ou moins affecté de maux de tête, surtout violents la nuit ; la douleur ne ressemblait pas à celle des maux de tête ordinaires, mais c'était comme si un poids accablant « adead weight » était attaché de tous les côtés de la tête, la poussant dans diverses directions. Le thé me faisait du bien, mais pour peu de temps. (P. 325.)

Je souffrais beaucoup la nuit du mal de tête, et d'une sorte de somnolence, comme il arrive dans l'ivresse. Je n'ai jamais éprouvé une preuve aussi évidente de l'existence d'un agent redoutable pour les principes de la vie animale, et quoique j'aie souffert beaucoup plus dans la passe de Boorendo, en 1818, le mal n'a pas duré jour après jour, comme ici. Tout mon monde était aussi affecté, les uns de maux de cœur, d'autres de maux de tête ; tous n'étaient pas également atteints, mais nous ne pourrions en conclure que ce fût une affaire de chance; il

faut dire seulement que les conditions naturelles d'énergie et d'action ne sont pas toujours les mêmes. . . . .

Les extrêmes du baromètre étaient ici de 17055p à 17160p; ceux du thermomètre de 41°F.5 à 53°; ce qui donne pour la passe de Shatool une hauteur de 15500 pieds. (P. 326.)

Le capitaine Al. Gérard nous a du reste laissé, dans un chapitre spécial d'un ouvrage posthume[1], un résumé des faits qu'il avait observés dans ses nombreuses campagnes :

Dans les montagnes élevées, une dépression des esprits et une débilité de corps, accompagnées de cruels maux de tête, plénitude au cerveau, oppression de poitrine, difficulté de la respiration, avec, de temps en temps, douleur d'oreilles, affectent tout le monde, plus ou moins. Tout cela tient à la raréfaction de l'air, ce dont j'ai eu des preuves nombreuses, ayant visité trente-sept lieux à différentes époques, entre 14 et 19400 pieds, et treize fois mon camp fut placé au-dessus de 15000 pieds. Il est digne de remarque que les gens de Koonawur et les Tartares estiment l'altitude des passes par la difficulté de respirer qu'ils éprouvent en en faisant l'ascension.

Il faut, cependant, bien noter que la difficulté à respirer n'affecte pas tout le monde également ni en même temps ; elle dépend, certes, dans une grande mesure, de l'état de la santé. Quand je ne me portais pas bien, j'ai souffert de maux de tête à 13000 pieds, tandis que, en bonne santé, je n'ai rien ressenti à 16000 pieds. A Boorendo (15000p), j'ai eu très-froid, et j'ai éprouvé, même au repos, une suffocation plus forte que cela ne m'est jamais arrivé à 19000 pieds, même en marchant.

Une fatigue quelconque, mais surtout l'ascension de monticules, augmente ces symptômes : de 17000 à 19000 pieds, les maux de tête sont constants, et personne ne peut faire plus d'une demi-douzaine de pas sans se reposer.

Quand on campe au-dessus de 16000 pieds (4875m), la difficulté à respirer est vraiment terrible, et souvent, pendant des heures entières, j'ai cru que j'allais être suffoqué.

Les personnes qui n'ont pas fait des voyages semblables peuvent à peine se faire une idée du temps qu'exige sur des lieux élevés un parcours de douze ou quatorze milles. J'ai fait trente-quatre milles à pied dans les pays qu'appelleraient montagneux ceux qui ne connaissent pas les parties difficiles du Koonawur, avec plus de facilité et en moins de temps que, dans ces hautes régions, je ne pouvais marcher douze milles. Une ascension de 5 ou 6000 pieds n'est pas rare, et quand l'élévation dépasse 14000 pieds, chaque mille, même quand la route est bonne, demande au moins deux fois plus de temps qu'à la hauteur de 7 à 8000 pieds. La dépression des esprits et du corps qu'on éprouve sur les montagnes élevées affecte tout le monde à un plus ou moins fort degré, et un de mes amis fut plus fatigué par une ascension et une descente de 5 000 pieds, sur une marche totale de neuf milles, en terrain élevé, qu'en allant de Nahun à Soobathoo, ce qui fait 45 milles. (P. 57-59.)

Les observations du capitaine Hodgson qui, en 1817, remonta

[1] *Account of Koonawur in the Himalaya.* — Publié après sa mort par G. Lloyd. London, 1841.

jusqu'aux sources du Gange et d'un de ses principaux affluents, la Jumna, méritent au même titre d'être citées[1] :

Nous éprouvions une grande difficulté à respirer, avec cette sensation particulière, constante dans les grandes élévations, là où il n'y a pas de verdure, et que je n'ai jamais éprouvée comme sur les champs de neige, même en montant plus haut. . . . .

La hauteur du mercure était 18 pouces 854, à la température de 53° F. ; d'où une altitude de 12914 pieds (3935^{m}). (P. 111.)

On était au 30 mai ; les voyageurs avaient atteint la source du Gange.

Ces contrées furent visitées dix ans après par le capitaine Johnson, dont le récit[2] donne des renseignements identiques à ceux de ses prédécesseurs. Au reste, l'influence redoutable des hauts lieux est bien connue des gens du pays.

En effet, le 1er et le 2 juillet 1827, Johnson exécute l'ascension du pic de Tazigand ou Pendjeoul :

Les naturels apprenant le projet de M. Johnson tentèrent en vain de le lui faire abandonner, par des récits exagérés des difficultés sans nombre qu'il présentait, et des dangers du *bis* ou vent empoisonné qui souffle sur la neige. (P. 160).

Du reste, fait bien digne de remarque et dont nous trouverons ultérieurement maints exemples, les gens du pays souffrirent beaucoup plus que les Européens :

Le capitaine Johnson occupa le 2 juillet le même terrain que celui où le Dr Gérard avait fait ses calculs barométriques à 19 411 pieds (5915^{m}) au-dessus du niveau de la mer. . . . .

Les habitants qui l'avaient conduit là avaient la respiration très-oppressée ; ils s'étendaient sur la neige, se tenant le cou à deux mains, et le *nassir* cépaye, qui seul était parvenu à la plus grande hauteur, se plaignait aussi beaucoup. Il est étonnant que nos compatriotes n'aient ressenti aucune souffrance. Ils éprouvèrent seulement parfois de la peine à respirer ; mais il leur survint des ampoules et de la cécité momentanée par l'éclat de la neige. (P. 162.)

Le voyageur français Jacquemont semble être en contradiction avec les assertions de tous ses prédécesseurs. Du moins, il déclare n'avoir rien éprouvé à des hauteurs souvent égales ou supérieures à celles qui avaient tant fait souffrir les voyageurs anglais. Cette

[1] *Journal of a Survey to the Heads of the Rivers Ganges and Jumna. — Asiatic researches,* t. XIV, p. 60-152. — Calcutta, 1822.

[2] *Voyaye par les monts Himalaya aux sources du Djemna et de là aux frontières de l'empire chinois ; d'Avril en Oct.* 1827. — *N. Ann. des Voyages,* t. LXVII, p. 127-188, 1835.

différence le frappe tellement qu'il la signale[1] aux professeurs du Muséum d'histoire naturelle, et tente de l'expliquer :

Kurnaul, 1er février 1831.

Plusieurs voyageurs anglais ont passé le col de Bouroune (15000 pieds environ), et tous se plaignent de céphalalgies et de nausées qu'il y ont éprouvées. J'ai passé dans des lieux bien plus élevés, puisque trois fois j'ai campé au-dessus de 16000 pieds, et, pour aller à Beckhur, j'ai eu à traverser des cols élevés de plus de 18000 pieds. Je n'ai jamais ressenti aucun des effets fâcheux dont se plaignent tous les voyageurs sur les hautes montagnes, et je n'en ai jamais observé les symptômes dans un seul des nombreux compagnons de mes courses. J'ai vécu sept mois dans l'Himalaya; je me suis élevé de sa base à ses sommets; lorsque pour aller à Bechkur je montai quatre fois jusqu'à 6000m, il y avait deux mois que je n'étais presque jamais descendu au-dessous de 5000m ; de là j'étais allé camper à 4000m après quelque séjour à 5000. Quand l'ascension est si graduelle, les poumons s'accoutument aisément à jouer avec liberté dans une atmosphère graduellement plus raréfiée. C'est un changement très-considérable de niveau dans un court espace de temps qui les affecte et qui produit l'oppression dont Saussure et tous ceux qui ont monté après lui sur le mont Blanc se plaignent, bien avant que d'arriver à la cime. (P. 53.)

Les notes si intéressantes qu'il avait laissées, et qui furent publiées après sa mort[2], contiennent à ce sujet, sur lequel il avait tout spécialement fixé son attention, des observations fort remarquables :

Le 16 mai 1830, j'arrivai à 3927m de hauteur.... C'était la première fois que je m'élevais à une hauteur si considérable; elle excède celle où l'on commence dans les Alpes à ressentir péniblement les effets de la raréfaction de l'air. Je ne les éprouvais nullement, je n'étais pas essoufflé plus que je ne l'eusse été au niveau le plus bas, en gravissant avec la même vitesse des pentes pareillement inclinées.

Je n'en aperçus les symptômes véritables chez aucun des gens qui me suivaient; ni anhélation, ni somnolence, ni nausées.

Il me semble que dans les climats tempérés, par les parallèles moyens des Alpes et des Pyrénées, on les éprouve plus tôt que sur les montagnes plus voisines de l'équateur. Si ce fait résulte uniformément du témoignage des voyageurs, il est peu explicable. L'effet, s'il dépend uniquement de la raréfaction atmosphérique, devrait être le même à la même hauteur dans toutes les régions du globe, et plutôt plus dans les contrées intertropicales, où la température raréfie davantage l'air à la même élévation. (P. 101.)

Jacquemont insiste à plusieurs reprises sur cette innocuité des hauteurs de l'Himalaya comparée à l'influence mauvaise des Alpes;

[1] *Correspondance inédite*, t. II, 1867. — Lettre à MM. les Professeurs administrateurs du Muséum, à Paris.
[2] *Voyage dans l'Inde, pendant les années* 1828 *à* 1832. — Paris, t. II, 1841.

il en essaie même une explication non sans fondement, dans le passage suivant :

Je montai trois fois à cheval au col de Rounang, élevé de plus de 4267ᵐ.

Cette hauteur excède celle où les voyageurs prétendent avoir commencé à ressentir les effets de la raréfaction de l'air dans les Alpes et les Pyrénées. Je ne les éprouvais aucunement. Peut-être l'anhélation dont Saussure et ses guides, et tous ceux qui depuis ont suivi ses pas, souffraient au mont Blanc, n'était-elle que le résultat d'une marche laborieuse et prolongée sur des pentes d'une roideur excessive. Peut-être si l'on pouvait se faire porter de Chamounix au sommet du mont Blanc, éviterait-on le malaise que l'on attribue généralement à la raréfaction de l'air à sa cime. Les frères Gérard qui sont incontestablement les premiers voyageurs des régions Alpines se plaignent constamment de fatigue excessive et de maux de tête violents, à tous les cols qu'ils ont traversés, entre 4572ᵐ et 5791ᵐ; et cet état de souffrance s'est prolongé chez eux tant qu'ils sont restés à ces hauteurs, où plusieurs fois ils campèrent. Il semblerait résulter de là que ce malaise n'était pas seulement l'effet passager de la fatigue occasionnée par une ascension considérable, mais réellement un effet de la constitution atmosphérique. . . . .

Le mont Blanc est élevé de 3780ᵐ au-dessus de Chamounix, qui ne l'est que de 1036ᵐ environ au-dessus de la mer. On y monte en trente heures. Voilà en un bien court espace de temps, un énorme changement dans la pression de l'atmosphère où l'on se trouve plongé. Un si brusque passage, indépendamment de la fatigue nécessaire pour l'effectuer, peut affecter sensiblement l'organe respiratoire. Ici, au contraire, depuis plus de trois mois, je vis moyennement à 1829ᵐ déjà au-dessus de la mer, et depuis le dernier mois, à 2745ᵐ, hauteur où certes je ne ressens aucun des effets de la raréfaction de l'air. En montant à 4572ᵐ d'élévation absolue, je ne franchis qu'une différence verticale de 1829ᵐ, la moitié de celle qui existe entre le mont-Blanc et Chamounix, et je n'éprouve rien que je puisse rapporter à un trouble de la respiration. Enfin la preuve que les symptômes fâcheux dont se plaignent les voyageurs au sommet des Alpes, ou sur les cols de l'Himalaya, se dissiperaient avec le temps, et que leurs poumons trouveraient assez d'oxygène dans un air raréfié de la moitié de sa densité, c'est l'existence de la métairie d'Antisana dans les Andes, que M. de Humboldt a fait connaître, élevée de 4114ᵐ environ, et où une famille vit à demeure, et laboure et travaille. Nul doute que le lac de Mansarower n'excède de 305ᵐ à 457ᵐ ce niveau [1], et cependant il y a des habitations sur ses bords, et les pèlerins en font le tour, dans un voyage de sept jours. M. Gérard établit lui-même et d'une manière très-satisfaisante, qu'une portion considérable du haut pays, où voyagent les marchands Kanaweris qui se rendent soit de Shipki, soit de Skialkur à Garou (Gortope), excède 4877ᵐ, et ils ne s'y plaignent pas des symptômes dont nous les voyons eux-mêmes atteints en passant des cols souvent moins élevés; d'où je conclus que dans ce dernier cas, c'est la fatigue de la marche qu'ils souffrent, chargés surtout comme ils le sont, tandis que dans les hautes plaines de la Tartarie chinoise, ils marchent à vide sur une route presque unie.

Ce n'est pas que je n'aie moi-même ressenti à 4000ᵐ d'élévation quelques-uns des symptômes en question, savoir : la fatigue et les maux de tête. Mais je ne me suis guère élevé à cette hauteur sans être exposé à un vent furieux, et quelque précaution que je prisse contre sa froidure, je fus toujours atteint de refroidisse-

[1] Le lac est par 4650ᵐ de hauteur.

ment qui agissant d'abord chez moi sur les entrailles produisit un dérangement dans la digestion, dont les maux de tête étaient évidemment la suite. » (P. 259.)

Les observations suivantes corroborent la première explication donnée par Jacquemont :

Le 11 août 1830, j'atteignis sur le col de Gantong, à 5486^{m} ; je n'éprouvai, au sommet, absolument aucune difficulté dans la respiration, tant que je restai immobile, porté sur mon cheval ; mais essayant de marcher sur un chemin presque uni, la fatigue, l'anhélation, se firent sentir promptement. Cependant je vis mes gens, pour atteindre au sommet même du passage, marcher plusieurs centaines de pas sur des pentes de neige très-faiblement inclinées, sans s'arrêter pour prendre haleine ; un seul se trouva malade. (P. 288.). . . . .

Le 16 août, au col de Kioubrong (5581^{m}), même immunité ; j'y montai d'un pas rapide par une pente très-douce et y marchai plus d'une heure avec vitesse, sans ressentir aucune lassitude particulière causée par l'élévation, aucuns maux de tête ni d'oreilles, aucune tendance au sommeil, rien enfin de particulier, peut-être, qu'une légère anhélation ; et, en effet, après quelques minutes de repos, mon pouls battait 82 pulsations. (P. 297.)

La limite des neiges perpétuelles dans cette région de l'Himalaya n'est, d'après Jacquemont, guère au-dessous de 6000^{m}.

Enfin, Jacquemont voulut établir nettement les conditions du problème par une expérience personnelle :

J'étais monté à cheval au Kioubrongghauti, et l'expérience que j'y avais faite, y étant parvenu sans aucune fatigue, de marcher rapidement pendant une heure en un lieu élevé de 5600^{m}, ne me laissant pas de doute sur la cause des symptômes singuliers éprouvés par les voyageurs qui montent à la cime du mont Blanc, je voulus gravir à pied le col de Gantong, pour connaître si la marche prolongée, mais prolongée modérément pendant cinq heures seulement, et très-lente, avec de nombreux intervalles de repos, sur des pentes à la vérité fort rapides, mais dont la hauteur verticale n'excédait pas 1000^{m}, me réduirait à l'état d'épuisement décrit par M. Gérard comme la suite immédiate du moindre mouvement, dès que l'on atteint l'élévation absolue de 4572^{m}. C'était justement le niveau de mon point de départ.

Excité dans les commencements de ma marche par le froid du matin, soutenu ensuite par la vivacité du vent, préoccupé par l'intérêt des objets que je voyais à chaque pas, souvent arrêté par eux, et soigneux de faire après trois heures de marche un léger repas pour prévenir tout sentiment de faim, que j'ai éprouvé constamment produire en moi dans les lieux élevés un affaiblissement extrême et des maux de tête, je me trouvai sans fatigue et presque sans m'en douter au sommet du col de Gantong, élevé de 5576^{m}. (P. 302.)

Mais si Victor Jacquemont fut à peu près indemne de tout accident aigu, et n'en vit pas se produire chez ses compagnons de route ni chez ses bêtes de somme, il s'en faut que tous les voyageurs aient joui de la même immunité.

Nous trouvons en effet dans les annales de Berghaus, pour mars

1832, la citation suivante, relative à une traversée de l'Himalaya sur les bords de la Sutlej; le nom du voyageur n'y est pas indiqué :

Lorsqu'on arrive à 15,000 pieds, la respiration devient difficile ; le voyageur éprouve une grande lassitude, des vertiges, des maux de tête et une soif inextinguible. Il est impossible de décrire les sensations que produit l'extrême raréfaction de l'air ; on croit étouffer à tout moment ; la respiration s'accélère d'une manière très-pénible, l'élasticité de la peau diminue. Le point culminant du passage est de 16,500 pieds. (P. 547.)[1]

Du reste, le lieutenant J. Wood[2], qui fit en 1836, 1837 et 1838, un voyage aux sources de l'Oxus, donne à ce sujet de nombreux et intéressants détails.

Le 20 février, l'expédition arriva sur les plateaux de Pamir, dont la hauteur est de 15600 pieds, les montagnes environnantes s'élevant encore de 3 ou 4000 pieds; elle était aux sources de l'Oxus, sur les bords d'un lac gelé :

On commença à briser la glace pour sonder la profondeur du lac. L'eau était glacée sur une épaisseur de 2 pieds et demi, et, à cause de la grande rareté de l'air, quelques coups de pics nous épuisaient tellement que nous étions obligés de nous coucher sur la neige pour reprendre haleine (p. 360). . . . .

Une course d'une cinquantaine de pas à toute vitesse forçait à haleter. L'exercice amenait en effet une douleur dans les poumons et une prostration générale des forces qui ne se relevaient pas avant plusieurs heures. Quelques-uns d'entre nous se plaignaient de vertiges et de maux de tête, mais, excepté ces divers phénomènes, je n'ai rien éprouvé, ni rien vu chez les autres, qui ressemble aux souffrances éprouvées par les voyageurs dans l'ascension du mont-Blanc. C'est que, dans ce dernier cas, la transition d'un air dense à un air rare est si soudaine, que la circulation n'a pas le temps de s'accommoder à la différence de pression, aussi sa violence s'accroît dans quelques-uns des organes les plus sensibles du corps. L'ascension de Pamir, au contraire, était si graduelle qu'il fallait des circonstances « *extrinsic* » pour nous rappeler l'altitude considérable à laquelle nous étions parvenus.

Les effets de la grande élévation m'avaient été cependant prouvés quelques temps auparavant d'une manière à laquelle je n'étais pas préparé. Un soir, dans le Badakhshan, comme j'étais assis, lisant près du feu, j'eus l'idée de me tâter le pouls, et ses battements rapides et turbulents appelèrent mon attention. Je me figurai que j'étais atteint d'une fièvre violente, et je suivis les indications de précaution que le Dr Lord m'avait laissées en partant. Le lendemain, mon pouls était aussi rapide que la veille, et cependant je me sentais en excellente santé. Je pensai alors à examiner le pouls de mes compagnons, et à ma grande surprise, je trouvai qu'ils l'avaient encore plus rapide que moi. La cause de cette augmentation d'activité circulatoire se présenta aussitôt à moi ; et quand ensuite nous nous di-

[1] *Berghaus Annalen*, t. V. — Berlin, 1832.

[2] *A personal narrative of a journey to the source of the River Oxus, in the years* 1836, 1837, 1838. — London, 1840.

rigeâmes vers le Wakhan, je comptai le pouls de mes compagnons chaque fois que j'enregistrai le point d'ébullition de l'eau.

Les modifications du pouls constituent ainsi une sorte de baromètre vivant, à l'aide duquel un homme habitué à s'examiner lui-même peut, dans les grandes altitudes, calculer grossièrement la hauteur à laquelle il se trouve.

Sur le Pamir, les pulsations présentaient les nombres suivants :

Moi.	110.	Écosse.	gras.
Gholam Hussein, Munshi	124,	Jasulmeere	gras.
Omer-Allah, muletier	112,	Afghanistan.	maigre.
Gaffer, domestique	114,	Peshawuree.	id.
Dowd, id.	124.	Kabul.	robuste.

La hauteur de la limite des neiges dans cette région est au-dessus de 17,000 pieds (5180m). (P. 352.)

Le lieutenant Wood fut accompagné, dans une partie de son voyage, par Al. Burnes, envoyé en mission à Caboul. Le 19 octobre 1837, deux autres de leurs compagnons, le lieutenant Leech et le docteur Lord, allèrent reconnaître et traversèrent une passe de l'Hindou-Koush, en allant à Caboul. La passe a environ 15000 pieds de hauteur; les neiges allaient bientôt la rendre impraticable; l'ascension fut facile. Cependant, dit Burnes[1] :

Les chevaux étaient en très-piteux état, et il fallut en descendre et aller à pied. Personne ne souffrit, mais les natifs les informèrent qu'eux-mêmes étaient fréquemment, à cet endroit, attaqués de vertiges, de faiblesses et de vomissements. (P. 152.)

Quelques années plus tard, un voyageur français, qui parcourait non l'Himalaya, mais les régions bien moins élevées de la Haute-Tartarie, fait de ses souffrances un récit lamentable. Il convient, il est vrai, de se tenir en garde contre les assertions du père Huc[2], dont la naïveté crédule était à peu près sans bornes. Néanmoins, la vive peinture qu'il nous a laissée des sensations éprouvées pendant la traversée du Bourhan-Bota, montagne dont il ne donne pas la hauteur, et qui paraît située vers le 95° longitude E. et le 40° latitude N., mérite d'être rapportée ici. Le jour de l'ascension n'est pas indiqué, non plus que la température ambiante :

Nous nous préparâmes à franchir le Bourhan-Bota, montagne fameuse par les vapeurs pestilentielles dont elle est, dit-on, continuellement enveloppée. . . . .

[1] *Cabool; in the years* 1836, 3-8. — London, 1842.

[2] *Souvenirs d'un voyage dans la Tartarie, le Thibet et la Chine, en* 1844-1846, t. II. Paris, 1850.

Bientôt les chevaux se refusent à porter leurs cavaliers et chacun avance à pied et à petits pas. Insensiblement tous les visages blémissent, on sent le cœur s'affadir et les jambes ne peuvent plus fonctionner; on se couche par terre, puis on se relève pour faire encore quelques pas; on se couche de nouveau et c'est de cette façon déplorable qu'on gravit ce fameux Bourhan-Bota. Mon Dieu! quelle misère! On sent ses forces brisées, la tête tourne, tous les membres semblent se disjoindre, on éprouve un malaise tout à fait semblable au mal de mer, et malgré cela, il faut conserver assez d'énergie, non-seulement pour se traîner soi-même, mais encore pour frapper à coups redoublés les animaux qui se couchent à chaque pas et refusent d'avancer. Une partie de la troupe, par mesure de prudence, s'arrêta à moitié chemin, dans un enfoncement où les vapeurs pestillentielles étaient, disait-on, moins épaisses; le reste, par prudence aussi, épuisa tous ses efforts pour arriver jusqu'au bout et ne pas mourir asphyxié, au milieu de cet air chargé d'acide carbonique. (P. 256.)

Les voyageurs dont je vais maintenant mentionner les récits sont beaucoup plus en concordance d'opinion avec ce qu'ont dit les frères Gérard, qu'avec les assertions extrêmes de Jacquemont et du père Huc.

Le 14 juillet 1845, Hoffmeister[1] atteignit le point culminant de sa route, le passage de Lama-Kaga (Thibet) à la hauteur de 15355 pieds anglais; la température était de — 50° Réaumur; la neige tombait:

Il se passa environ une heure et demie avant que nos premiers coolies arrivassent avec nos bagages. Ils étaient dans le plus triste état, et souffraient, ainsi que notre interprète M. Brown, de maux de tête qu'ils dépeignaient comme insupportables. La perte des forces, les angoisses, les nausées sont les symptômes de ce malaise qu'on appelle ici *Bies* (poison) ou Mundara. Il atteint ainsi les voyageurs au niveau des neiges perpétuelles. Chez les coolies, il se manifesta à moitié chemin en montant au passage. Ils employaient contre lui une sorte de pâte faite avec de petits abricots aigres et leurs noyaux. (P. 242.)

Dans le récit du docteur Th. Thomson[2], ce ne sont pas seulement les coolies, mais le voyageur européen lui-même, qui fut atteint par l'influence des altitudes.

Le 6 septembre 1847, Thomson et sa suite campèrent à 14800 pieds de hauteur, et le 7, ils s'élevèrent à 17000 pieds (5180^{m}):

Pendant toute la journée je n'ai jamais été débarrassé d'un violent mal de tête, évidemment causé par la grande élévation. Le repos le faisait diminuer, mais il reparaissait au moindre mouvement. Il dura toute la soirée, tant que je fus réveillé, et je l'avais encore le 8 au matin, quand je me levai au jour pour préparer le voyage. . . . .

[1] *Briefe aus Indièn.* — Braunschweig, 1847.
[2] *Western Himalaya and Tibet; a narrative of a journey through the mountains of Northern India, during the years* 1847-48. — London, 1852.

L'ascension, le lendemain, fut extrêmement raide et laborieuse. L'acte d'élever son corps était très-fatigant, et les dernières centaines de yards ne furent accomplies qu'après plusieurs pauses..... j'atteignis le sommet de la passe de Parang à sept heures trois quarts du matin; j'étais à 18500 pieds (5640 mètres); la température était 28°..... la neige était gelée..... le vent soufflait avec force..... Nous descendîmes sans fatigue..... (P. 135.)

Après un séjour d'une année dans ces régions élevées, le docteur Thomson poussa une reconnaissance vers le nord, jusqu'à la passe célèbre de Karakorum, à 18604 pieds (5670^{m}). Là encore, ses malaises reparaissent, ou, pour parler plus exactement, ils prennent une telle intensité que force lui est d'en faire une mention expresse :

19 août 1848. — Durant ces trois jours d'ascension, je souffris très-violemment des effets de la raréfaction de l'air, étant sans relâche tourmenté d'un douloureux mal de tête que le plus léger exercice surexcitait..... La température de l'air était 50°.

Le botaniste Dalton Hooker[1] est encore plus explicite.

A la hauteur de 16000 pieds, en montant, le 2 décembre 1848, la passe de Kanglachem, dans le Népaul oriental, Hooker éprouva des difficultés à respirer, une grande lassitude, des vertiges, des maux de tête. (T. I, p. 247.)

Quelques jours après, sur la montagne de Nango, à 15000 pieds :

Je trouvai tout à fait impossible de garder mon calme à cause de l'aggravation des douleurs dans le front, de la lassitude, de l'oppression. (P. 252.)

Le 25 juillet 1849, traversée de la passe de Kongra-Lama (15741 pieds) :

Après deux heures j'étais raide et glacé, et souffrant de maux de tête et de vertiges dus à l'élévation. (T. II, p. 82.)

Le 18 septembre, ascension de la passe de Sebolah (17517 pieds) :

Je tâtai le pouls à huit personnes après un repos de deux heures; il variait de 80 à 112, le mien étant de 104. Comme il est ordinaire à ces hauteurs, tout le monde souffrait de vertiges et maux de tête. (P. 142.)

Le 15 octobre, nuit passée à 17000 pieds :

Mes coolies étaient en bonne santé; mais ceux de Campbell étaient dans un état désastreux de malaise et de fatigue; ils avaient la face enflée et le pouls rapide, et quelques-uns étaient comme insensibles avec des symptômes de faible

[1] *Himalayan journal; or notes of a Naturalist*, 2 vol. — London, 1854.

pression cérébrale; ceux-ci étaient surtout des Ghorkas (Népauliens). Je n'ai jamais éprouvé de saignements du nez, des oreilles, des lèvres et des yeux, et n'en ai pas vu à mes compagnons, dans de semblables occasions; je n'ai pas non plus rencontré de voyageur récent qui les ait éprouvés. Le Dr Thomson a fait les mêmes remarques, et ensemble en Suisse, nous avons appris de A. Balmat, Fr. Cartet et autres guides expérimentés du mont Blanc, qu'ils n'avaient jamais été témoins de ces symptômes, non plus que de la noirceur de la peau, si fréquemment indiquée par les voyageurs alpins. (P. 160.). . . . .

17 *Octobre*. — Il est assez remarquable de voir que Turner ne fait nulle part allusion aux difficultés de respirer, et ne parle que dans un endroit du mal de tête, même à cette grande élévation. Cela tient probablement à ce qu'il a été constamment à cheval. Je n'ai jamais, étant à cheval, souffert de la tête de la respiration ou de l'estomac, même à 18300 pieds (5580 mètres). (P. 167.)

C'est, on le voit, en traversant des *passes*, que les voyageurs éprouvent des accidents; les ascensions proprement dites des montagnes isolées sont en effet extrêmement rares. En voici cependant une, dans laquelle le capitaine Roberston[1] atteignit, en octobre 1851, le sommet du Sumeru-Parbut, à une hauteur qu'il estime à 20000 pieds environ (6100m). La nuit précédente fut passée à peu près à 4000m :

Le lendemain matin, nous quittâmes notre tente à huit heures dix minutes, et nous atteignîmes à une heure trente-cinq minutes un glacier en talus. A ce point, la vue et la respiration devinrent très-pénibles pour le lieutenant Sandilands et pour plusieurs de nos guides. . . . .

Sandilands atteignit un endroit distant d'une demi-heure du sommet, où il se ressentit tellement de la raréfaction de l'air, qu'il lui fut impossible physiquement d'aller plus loin; il s'en retourna donc, avec le seul radjpoute qui l'eût suivi jusque-là, les autres l'ayant depuis longtemps abandonné; mon brahmine, beau jeune homme d'une forte constitution, et qui vint avec moi jusqu'au sommet, ne souffrait en apparence rien, mais lorsque nous regagnâmes notre tente, il lui fut impossible de rien manger. Quant à moi, mes yeux me faisaient souffrir, ma respiration et mes esprits vitaux étaient oppressés, mais il me resta cependant assez d'énergie et de force physique pour monter plus haut encore. A mon retour dans ma tente, mon appétit n'était nullement attaqué, et je fis un souper copieux.

Mais les récits les plus intéressants que j'aie rencontrés dans mes lectures sont à coup sûr ceux qu'a publiés mistress Hervey. Et cela se comprend; simple touriste, ne s'occupant ni de politique, ni de géographie, ni de science, elle accorde une attention spéciale à tout ce qui touche à sa santé, aux petits incidents de sa route, qu'elle narre avec complaisance et dans tous leurs détails. De plus, d'assez faible complexion, elle paraît être facilement atteinte, à des niveaux assez bas.

[1] *Ascension du Sumeru-Parbut* (*Himalaya*). — *N. Ann. des Voyages*, t. CLII, p. 303-309; 1856.

Ainsi c'est bien au mal des montagnes qu'il faut rapporter une partie des accidents suivants, bien que la hauteur soit fort médiocre :

25 *Juin.* — Nous fîmes halte (après avoir traversé la passe de Rotung (11 000 pieds, 3 350 mètres) dans le Lahoul)..... Le capitaine H. vint me dire bonsoir dans ma tente vers neuf heures, et observa que j'étais fort pâle, la figure et les mains visqueuses et froides. Je me trouvais alors fort malade ; ma tête s'égarait ; j'avais mal au cœur, les pieds et les mains comme de la glace. Des convulsions survinrent et de la mousse me vint aux lèvres. Je m'étendis à terre, et j'y restai fort souffrante ; on me donna deux doses d'eau de Luce, on me mit aux pieds de l'eau qui, bien que bouillante, ne rappela que difficilement la circulation. Toute la journée d'hier j'ai été malade et incapable de me lever ; mon pouls n'était pas à moins de 108. Je suis mieux ce matin, mais mon pouls est encore très-élevé, bien que moins irrégulier.

Le capitaine H. déclare que cette maladie soudaine est due à la rareté de l'air de la passe..... Si j'en suis déjà ainsi affectée, que sera-ce à 16 ou 17 000 pieds ? (T. I, p. 117.)

Mais si le doute est possible dans ce cas, il n'en est plus de même dans les citations qui vont suivre. Le 6 juillet, traversée de la passe de Bara-Lacha ; mistress Hervey était en mauvais état de santé :

Je ressentis de grandes souffrances dans les jambes, et une extrême lassitude, bien avant d'arriver au sommet de la passe ; mais je fis un violent effort pour surmonter ces sensations, et j'arrivai à pouvoir chevaucher jusqu'au sommet. Du moment où nous descendîmes, un mal de tête terrible, brisant, me frappa. Avant d'atteindre Yûnnumscûtchoo, je souffris de nausées insurmontables et sentais comme si ma tête allait se fendre en deux. Les principales sensations étaient un bourdonnement très-douloureux et très-intense aux tempes, des maux de cœur violents, des douleurs dans les jambes, et une lassitude allant jusqu'à la prostration. Personne d'autre n'était malade dans le camp, excepté Ghaussie, qui avait un fort mal de tête.

Je ne pus m'endormir le soir avant une heure ou deux, et fus réveillée par les battements de mon cœur, si tumultueux qu'ils m'inspirèrent de sérieuses craintes. Mon pouls galopait, ma tête était brûlante avec des battements aux tempes, et les misérables maux de cœur. Nous ne nous sommes mis en marche que tard le lendemain matin, et si je ne m'étais pas trouvée mieux, nous n'aurions pas pu bouger. Le capitaine H. me dit qu'il avait eu un fort mal de tête pendant la nuit, qu'il s'était senti fatigué et malade, mais que cependant il n'avait pas autant souffert cette fois que la dernière fois qu'il avait traversé la passe, car il avait alors eu les mêmes sensations que moi. . . . .

La passe de Bara-Lacha est, je crois, entre 16 et 17 000 pieds au-dessus de la mer, selon le capitaine Cunningham. (T. I, p. 133.)

Mistress Hervey raconte alors que les gens du pays attribuent tous ces phénomènes à l'action d'une plante empoisonnée ; mais,

[1] *The adventures of a Lady in Tartary, Thibet, China and Kashmir.* — London, 3 vol., 1853.

cette fois, il s'agit d'une espèce de mousse. Nous reproduirons ce passage au chapitre III.

Le lendemain, la route, qui se maintenait toujours à de grandes hauteurs, força plusieurs fois les voyageurs à l'ascension de petites collines :

En montant, dit Mrs. Hervey, j'observai un grand nombre de mousses empoisonnées, dont deux ou trois espèces croissaient sur les rochers nus. Je souffrais terriblement de la tête, et tremblais d'un retour de l'affreuse « maladie de la passe » ou, comme disent les natifs, d'être « *bôôttee luggeea* », c'est-à-dire frappée par les plantes.

Nous monterons demain le Lông-Illâchée Jôth (ou passe), et nous le redescendrons, ce qui me promet une aimable journée de *bôôttee*. (T. I, p. 139.)

Et en effet, en arrivant le lendemain à Rokchin (Ladak), mistress Hervey déclare qu'elle est si malade et si faible qu'il lui est impossible d'écrire. Le 9, après le repos de la nuit, elle peut à peine écrire, et dut rester couchée. Deux de ses domestiques sont très-malades. Le capitaine H. a souffert pendant la nuit de violents maux de tête (p. 142).

Le 11 juillet, passage d'un lieu dont mistress Hervey estime la hauteur à 17000 pieds environ :

Je souffris encore plus de la tête qu'à l'habitude, avec une oppression terrible de la poitrine. Il est vrai que, depuis la traversée de la passe de Bara-Lâcha, j'ai toujours beaucoup souffert de la rareté de l'air ; un mal de tête perpétuel, et, surtout pendant la nuit, une gêne pulmonaire douloureuse, et une accélération très-pénible des mouvements du cœur. J'ai eu à peine une heure de sommeil continu ; il me fallait m'asseoir sur mon lit, ne pouvant respirer couchée. Ces régions élevées ne vont pas à mes poumons. (P. 152.)

Dans la nuit suivante, campement à 14800 pieds sur les bords du lac de Chôômorêêree :

J'ai maintenant grand'peur de la nuit, parce que, loin de dormir, je souffre terriblement. Hier, c'était vraiment très-pénible ; en outre d'un cruel mal de tête, j'ai souffert de violentes oppressions de poitrine, et mon cœur allait un train de chemin de fer, « *a railroad pace* », quand je remuais seulement d'un pouce dans mon lit. (P. 153.)

Ces souffrances sont telles, qu'elles la déterminent à changer un peu sa route, pour éviter les grandes hauteurs (p. 162). Et cependant, le 16 juillet, en arrivant au pied de la passe de Tunglund, elle écrit :

Nous avons vu beaucoup de *bootie* empoisonnées aujourd'hui en route. J'ai été misérablement malade pendant toute la nuit. Vers onze heures du soir, l'oppression respiratoire, la suffocation devinrent tellement insupportables, que je fus obligée de me relever sur mon lit, pour pouvoir respirer un peu. (P. 169.)

Le lendemain, ascension de la passe (entre 16 et 17000 pieds) :

L'odieuse mousse dont j'ai si souvent parlé couvrait la passe, et, bien avant d'arriver au sommet, je souffrais de la tête de la plus violente manière. Mais je n'ai pas eu de nausées, ce qui tient peut-être à ce que la passe est très-aisée. (P. 171.)

Le 19 juillet de l'année suivante, malgré son séjour continu dans les régions élevées du petit Thibet, mistress Hervey n'était pas acclimatée, car, en franchissant la passe de Brarmoorj dans le Wurdwun (de 15 à 16000 pieds), elle dit :

J'ai souffert d'un mal de tête tout à fait insupportable, qui allait en augmentant sans cesse; mais je n'ai pas eu les nausées que j'ai invariablement éprouvées dans toutes les passes du Ladâk. (T. II, p. 298.)

Et le 5 août 1851, à la traversée de la passe de Hânnoo (entre 15500 et 16000 pieds), dans le Ladak, passe d'accès assez facile, elle souffrit horriblement; il est vrai qu'elle était déjà indisposée. Elle dit le lendemain :

J'ai traversé bien des passes, mais jusqu'à aujourd'hui je n'avais jamais éprouvé les sensations terribles qui m'ont rendue presque folle bien avant que je sois arrivée à moitié chemin et bien après que j'ai eu quitté les grandes hauteurs. Mes souffrances ont pu être aggravées par mon indisposition, mais, quoi qu'il en soit, elles ont été écrasantes. Je me couchai à terre à Dorâ, plus morte que vive, et mes domestiques me firent une tente de couvertures. J'étais dans un tel état de prostration, que non-seulement je ne pouvais me lever, mais que je n'aurais pu supporter d'être portée en « dhoolie ».... Un violent mal de tête, des nausées insupportables, des palpitations pressées, l'impossibilité de respirer amplement, tels étaient les symptômes de la *bôôtie* bien connue qui m'assaillit plus durement que jamais avant que je sois arrivée au sommet de la passe. Je suis sûre que si j'avais voulu remuer un quart d'heure pendant ces horribles sensations, j'aurai vu se briser quelque vaisseau sanguin, et serais morte sur place. Parler seulement était un douloureux exercice, qui amenait de copieuses hémoptysies, et accélérait les battements de mon cœur bien au-delà de cent pulsations par minute. J'avais de terribles nausées, dont la force épuisante ne peut être comparée qu'à celles du mal de mer. J'étais ainsi bien misérable et mes souffrances étaient intenses hier. Même aujourd'hui je ne puis respirer sans peine, et mon cœur bat violemment et irrégulièrement; je n'ai pas encore oublié l'atmosphère raréfiée de la passe de Hânnoo.

Comme on me portait, hier, à peu près à un demi-mille du sommet, Ghaussie appela mon attention sur un de mes domestiques qui gisait sans connaissance, sur la neige. On le réveilla facilement, mais il refusa de se mouvoir, disant que sa tête « allait se fendre en deux. » Après un léger combat entre l'humanité et des préjugés fortement enracinés, car le malade était un *sweeper*, la dernière classe des domestiques, je lui envoyai mon propre poney pour le porter ; si on l'avait laissé là, il aurait péri certainement pendant la nuit.

Pendant que je parle de la maladie de cette passe comme d'un cas de *bôôtie*, je

dois avouer que je n'ai pas observé une seule plante de l'espèce particulière de mousse qui, dans les passes de Ladâk et du Lahoul, sont considérées comme empoisonnant le vent et occasionnant le désastreux malaise que j'ai décrit.
Un de mes domestiques kashmiriens fut la seule autre personne de mon entourage qui fût atteinte; ce n'est donc pas une règle *sine quâ non* que la souffrance dans les grandes altitudes. (T. II, p. 367-370.)

Et le lendemain, au moment de partir de Scheerebookhchun, elle écrit :

Je vais voyager au clair de la lune, car j'ai été si malade pendant toute la journée, que j'ai été très-peu disposée à me remuer. Si je me laissais dominer par les sensations pénibles qui m'ont tant éprouvée, je ne me mettrais pas en chemin maintenant, mais cela pourrait être impolitique. Dans mon opinion, rien ne vaut l'exercice pour dompter nos petites *misères* corporelles et mentales.
Je dois pratiquer ce que je prêche, et monter à cheval ce matin, envoyant en avant mon dhoolie. (P. 378.)

Elle se met en marche, au lever du soleil, et va, à cheval, jusqu'à Kulâtsey.

J'étais alors si malade et si épuisée, que, ne trouvant pas là mon dhoolie, je me couchai dans mon châle, sur le sol même, pendant plusieurs heures. Enfin, vers le soir, un autre dhoolie fut prêt, et j'y pus monter... Je n'ai pu me remettre des effets de l'air raréfié sur la passe de Hânnoo. Mon cœur bat avec violence et irrégularité, et j'éprouve en respirant de grandes douleurs de poitrine. Le dégoût de la nourriture est tel que je puis à peine arriver à toucher quelques aliments pendant les vingt-quatre heures. (P. 378.)

Le 14 août, traversée d'une sorte de passe, au voisinage de Ghia :

J'ai souffert d'un bien pénible mal de tête, mais pas de nausées, bien que j'aie pu reconnaître ma vieille ennemie, la bôôtie, la mousse fatale du Ladâk-Oôjar. En marchant cinquante pas pour atteindre une fleur, les pulsations de mon cœur augmentèrent horriblement, et des doses répétées de digitale n'ont pu en calmer les battements précipités et violents. Je ne sache pas de sensation plus alarmante et plus douloureuse que cette action exagérée du cœur. Aucun de mes domestiques n'a souffert. . . . .
Je suis arrivée à Zurra au lever du soleil. Je suis tout à fait anéantie par mes douleurs stupéfiantes de tête, bien que j'aie échappé à la nausée, et c'est là la seule consolation que j'aie dans mes souffrances. (P. 397.)

Le 18 août, campement à Chôômorêêree, à une hauteur de 14794 pieds (4510^{m}) :

J'ai passé une nuit misérable, et suis ce matin malade et épuisée. J'ai dû rester ainsi la moitié de la nuit, absolument incapable de respirer dans la position horizontale; mon cœur battait violemment avec des palpitations effrayantes. J'ai eu vraiment peur de mourir dans les ténèbres. . . . .
Le soir, nous campons à peu près 15000 pieds de haut. J'ai la plus grande

difficulté à respirer, ma poitrine me paraît surchargée d'un poids énorme qui m'oppresse douloureusement. Ces sensations pénibles augmentent à la chute du jour. (T. III, p. 13.)

Le 20 août, campement au pied de la passe de Pârung, à environ 17000 pieds (5180m) :

Terrible hauteur pour passer la nuit sous une tente, lorsqu'on souffre comme moi de la rareté de l'air. Oppression dans la poitrine, extrême difficulté de la respiration, crachements de sang fréquents, ne m'ont pas laissé de repos pendant ces seize dernières heures... Le froid est intense. . . . .

Au jour, je me trouve mieux, bien que je ne puisse respirer librement, et que le moindre mouvement me mette comme en détresse... Ma tête est à peu près remise et, mon courage m'étant revenu, je me décide à traverser la passe... Y aller à cheval est impossible, à pied non moins; je monte sur un yack. (P. 19.)

Chose remarquable, bien que cette passe soit la plus élevée qu'ait traversée notre voyageuse, elle n'y souffrit que peu : pas de nausées, un léger mal de tête seulement (p. 26). Moorcroft l'estime à 19000 pieds (5790m), et mistress Harvey va jusqu'à 20000 (6095m). Elle s'étonne, non sans raison, de ce résultat :

Il est curieux, dit-elle, d'observer les effets différents des différentes passes. Bien que les sensations douloureuses observées dépendent incontestablement de la rareté de l'air, il est certain que le malaise n'est pas proportionnel à la hauteur. Sur les passes de Bara Lâcha et de Hânnoo, j'ai été misérablement malade, au-delà de toute expression, et sur celle de Pârung, plus élevée de 3 ou 4000 pieds, je n'ai pas eu de nausées, à peine de mal de tête. Je respirais difficilement, mais cela me paraît secondaire.

Je suis loin de pouvoir donner une raison satisfaisante de cette inégalité. J'ai traversé tant de passes que j'ai eu bien des occasions de remarquer combien peu la maladie des passes est en rapport avec la hauteur, au-delà, bien entendu, de 13 ou 14000 pieds. La « Bischk-ke-Bôôttie », ou plante empoisonnée, couvrait le sol bien des milles autour de Tâtung. (P. 33.)

Les voyages du capitaine Oliver[1] dans l'Himalaya offrent aussi le récit d'impressions intéressantes pour notre sujet. En juillet 1859, il traversait la passe de Roopung, par 15500 pieds environ (4720m) :

Nous campâmes à la limite inférieure de la neige perpétuelle, à 14000 pieds au-dessus du niveau de la mer. Il faisait très-froid. . . . .

Le lendemain matin nous partîmes sur la neige...... Le sommet de la passe se montrait dans une scène sauvage et désolée. Mais je ne m'en inquiétais guère, ayant assez à m'occuper de moi-même, car la raréfaction de l'air agissait sur moi. Je souffrais d'une pénible brièveté de la respiration, et bientôt il me fallut

[1] *Trips in the Himalaya.* — *Alpine Journal,* t. IV, p. 73-93; London, 1870.

m'arrêter tous les deux ou trois pas. La neige était molle, ce qui rendait la marche plus difficile encore..... J'atteignis enfin la dernière pente, une bande de neige de 50 pieds de haut, et très-rapide..... Mais à ce moment j'étais si complétement épuisé que je me trouvais tout-à-fait incapable de la franchir sans assistance. Cependant, après une courte halte, je fis un effort désespéré, et je ne sais comment j'arrivai au sommet, où je m'étendis sur le sol, absolument abattu. (P. 84). . . . .

Cette passe est très-fréquentée par les Tartares qui apportent du borax et de la laine sur les marchés indiens. Ils souffrent beaucoup, cependant, de la raréfaction de l'air, mais attribuent ses symptômes à une plante empoisonnée, plante fabuleuse qui, selon eux, croît sur les grandes hauteurs.

Ils sont aussi sujets à de violentes attaques de coliques dans les passes.... Un de mes Sickhs en fut pris ; il se coucha sur le sommet, gémissant, et déclarant qu'il allait mourir : trente gouttes de laudanum le remirent. (P. 85.)

La même année, un autre voyageur, Cheetam [1], suivait la route de Simla à Srinagar ; le 17 août 1859 il traversait la passe de Lunga-Lacha par 16750 pieds (5100^{m}) :

Je fis alors ma première expérience des effets funestes que l'air très-raréfié, le mauvais temps et la fatigue produisent sur les grandes hauteurs.

Vertiges, maux de tête violents, nausées, telles étaient les sensations caractéristiques, auxquelles s'ajoutait agréablement un sentiment d'épuisement intense, une profonde dépression physique et mentale. Heureusement, chez moi, cette aimable complication ne dura que quelques heures, dans le milieu du jour, et encore, par intermittences. J'ai noté que, invariablement, je me trouvais mieux en descendant les collines qu'en les montant ; et qu'il y avait une sorte de correspondance entre les apparitions du soleil et mes intervalles lucides.

Les souffrances de mon Kashmirien et des marchands de Caubul étaient évidemment beaucoup plus continuelles et aiguës que les miennes, surtout à cause d'un dérangement général dont ils se plaignaient depuis la veille, au passage du Bara Lacha.

Il était impossible de combattre leur croyance absolue que tous ces accidents étaient dus aux exhalaisons empoisonnées d'une plante mystérieuse, le « dewaï-ghas » ou « herbe médicale », qu'ils assurent pousser dans ces régions, bien qu'on n'ait jamais pu en rencontrer... Le Kashmirien fut malade deux jours. (P. 137.)

Quelques jours après, passage d'un col plus élevé encore, celui de Tunglung, qui a 17750 pieds (5410^{m}). Le campement de nuit se fit à Larsa, à 16400 pieds :

L'ascension des 1350 pieds que nous avions à monter fut très-rude ; le moindre effort dans cet air si raréfié nous rendait la respiration très-pénible. (P. 141.)

[1] *The Tibetan Route from Simla to Srinagar.* — *Alpine Journal*, t. III, p. 118-153 ; London, 1867.

Le récit de Semenof[1] a ceci d'intéressant qu'il se rapporte aux premiers voyages faits dans les hautes régions des monts Célestes. Le 25 juin 1857, après avoir campé à une hauteur de 7500 pieds, il traversait la passe de Zaùkù. On y voit par milliers des carcasses de chameaux, de chevaux, de bœufs, de chiens :

Le cheval de M. Kosharof s'abattit.... le mien glissa, se coupa profondément et mourut sur place ; deux des chevaux des Cosaques furent tellement épuisés qu'ils ne purent aller plus avant.... Le guide nous assura que la difficulté de respirer au sommet du Zaùkù Pass était telle qu'il serait impossible d'y vivre plus d'une heure et demie. (P. 364.)

On voit, dans cette affirmation du guide, un exemple des exagérations habituelles dans tous les pays où les lieux très-élevés ne sont qu'une exception. Malheureusement, Semenof ne donne pas la hauteur de la passe de Zaùkù.

Mais personne n'a pu traiter cette question avec plus d'autorité que les frères Schlagintweit, dont les expéditions dans les hautes régions de l'Asie marquent parmi les voyages les plus importants de ce siècle, les plus féconds au point de vue de la géographie, de l'histoire et des sciences naturelles.

Ils ont consacré un paragraphe, dans le récit officiel de leur voyage[2], à l'histoire des accidents de la décompression. On y voit qu'ils se sont élevés à la plus grande hauteur qu'ait encore atteinte l'homme dans les ascensions de montagnes, à 6882^m, sur les flancs l'Ibi-Gamin, le 19 août 1855.

Voici le résumé de leurs plus hautes ascensions :

Sur quelques plateaux très-élevés qui servent de pâturages, l'habitation temporaire pour quelques mois s'établit dans les environs de 16500 pieds (5030^m) ; c'est à cette hauteur, probablement la plus élevée de ce genre sur le globe, que des pasteurs thibétains dressent leurs tentes et bâtissent même des habitations permanentes.

Par expérience personnelle, nous pouvons dire que, pour dix ou douze jours, l'homme peut dépasser considérablement cette altitude, nous ne dirons pas sans souffrance, mais positivement sans inconvénient bien sérieux. Dans nos explorations du glacier de l'Ibi-Gamin, du 13 au 23 août 1855, nous campâmes pendant dix jours pleins, en compagnie de huit hommes qui nous servaient, à des élévations véritablement extraordinaires. Pendant ce temps, notre camp fut placé à 16642 pieds (5070^m) pour sa station la plus basse. Notre point le plus

[1] *First ascent of the Tian-Shan or Celestial mountains, and Visit to the Upper Course of the Jaxartes or Syr-Daria, in 1857.* — *The Journal of the roy. géogr. Soc.;* t. XXXI, p 356-365; 1861.

[2] Schlagintweit (Hermann, Adolph and Robert de), ***Results of a scientific mission to India and High Asia***, 1854-1858 ; 4 vol. — Leipzig and London, 1861-1866.

élevé fut 19326 pieds (5890^m); c'est l'élévation la plus grande où nous ayons passé la nuit. Une autre fois, nous campâmes à 19094 pieds, plus tard à 18300, et le reste du temps, entre 18000 et 17000 pieds. . . . .

Un jour nous avons traversé un passage à 20459 pieds (6230^m), et trois jours avant, le 19 août 1855, nous étions montés sur les flancs de l'Ibi-Gamin, à la hauteur de 22259 pieds (6882^m). A notre connaissance c'est la plus grande altitude à laquelle on se soit élevé sur les montagnes. . . . .

Au pic de Sassar, le 3 août 1856, nous atteignîmes une hauteur de 20120 pieds. Avant nous, les frères Alexandre et James Gérard montèrent à 19411 pieds sur un pic du Spiti, le 18 octobre 1818. . . . .

Pour ce qui regarde les effets à considérer pour une acclimatation, nous en pouvons parler par notre expérience personnelle. En traversant pour les premières fois des passages de 17500 à 18000 pieds, nous sentîmes tout d'abord des troubles considérables. Peu de jours ensuite, après avoir parcouru les points les plus élevés et passé plusieurs nuits à ces hauteurs, nous nous trouvâmes à peu près complétement libres de ces désagréables symptômes, même à l'élévation de 19000 pieds. Quelle aurait été la conséquence d'un séjour plus prolongé sur ces hautes régions, c'est ce que nous ne pourrons dire. Mais nous considérons comme très-probable qu'une résidence plus longue aurait eu des effets funestes sur la santé. . . . .

L'influence de l'altitude varie avec les individus. L'homme bien portant a des chances pour souffrir moins. La différence des races n'est pas d'une importance appréciable. Nos domestiques indous, qui nous accompagnèrent jusqu'aux points les plus élevés, souffrirent du froid plus que les Thibétains, leurs camarades, mais ils ne se ressentirent pas davantage des effets de la diminution dans la pression atmosphérique.

Pour la plupart des gens, l'influence de la hauteur commence à se manifester à 16500 pieds, la hauteur des pâturages extrêmes. Nos chameaux et nos chevaux souffrirent d'une manière très-évidente vers 17500 pieds.

Les symptômes produits par la raréfaction sont : la céphalalgie, la difficulté de respirer; l'oppression de poitrine, celle-ci pouvant aller jusqu'à amener des crachements de sang, et très-rarement de légères hémorrhagies nasales; nous ne vîmes jamais de sang sortir par les lèvres et les oreilles; le manque d'appétit et souvent des nausées ; la faiblesse musculaire, avec une dépression générale et un abattement d'esprit. Tous ces symptômes disparaissent à peu près simultanément, chez l'homme bien portant, par le retour à des localités plus basses. Les effets mentionnés ne sont pas sensiblement augmentés par le froid, mais le vent a l'influence la plus fâcheuse sur les symptômes éprouvés. Comme ceci était un phénomène nouveau pour nous, et qu'il n'avait pas été mentionné par nos devanciers, nous l'observâmes avec attention, et remarquâmes des circonstances où la fatigue n'y était pour rien. Sur les plateaux du Karakorum, il arrivait fréquemment, même pour ceux qui étaient endormis sous la tente dans des endroits un peu protégés, d'être réveillés pendant la nuit par un sentiment d'oppression qui devait être attribué à une brise, même assez faible, qui s'était élevée pendant les heures du repos. Quand nous étions occupés aux observations, nous prenions peu ou point d'exercice du corps, quelquefois pendant trente-six heures, et nos domestiques encore moins que nous. Et cependant il arriva souvent, vers les hauteurs qui n'excédaient pas 17000 pieds, que le vent de l'après-midi ou du soir nous rendait assez malades pour nous faire perdre tout goût à la nourriture; on ne pensait même pas à préparer le dîner. Dans la matinée, quand le vent ne soufflait plus, l'appétit revenait généralement, nous étions moins malades le matin que

le soir; ce qui doit évidemment tenir en partie à ce que les fortes brises s'élèvent plus généralement dans la seconde moitié du jour.

Les effets de la diminution de pression sont considérablement aggravés par la fatigue. Il est surprenant à quel degré d'épuisement on arrive: l'action même de parler est un travail, on ne s'occupe ni du confort ni du danger. Souvent nos gens, même ceux qui nous avaient servi de guides, se laissaient tomber sur la neige, déclarant qu'ils aimaient mieux mourir sur-le-champ que de faire un pas de plus. Par de simples motifs d'humanité, nous nous vîmes souvent obligés d'intervenir en leur faveur et de les arracher par la force à la stupeur où ils étaient tombés, tandis que nous n'étions guère nous-mêmes dans un meilleur état d'animation. (T. II, p. 481-485.)

Les observations des voyageurs plus récents s'accordent tout à fait avec ce que nous venons de rapporter. Il faut même noter que, l'existence de malaises sur les passages élevés étant aujourd'hui bien connue de tout le monde, souvent les voyageurs n'en parlent pas, ou se contentent d'y faire allusion en quelques mots.

Ainsi, le capitaine Godwin-Austen[1], qui explora les glaciers du Karakorum, fait, en 1860, l'ascension du Bianchu (16000 pieds), du Gommathaumigo (17500 pieds), sans parler d'aucun trouble.

Dans son voyage de 1861, il grimpe d'abord sur le Boorje-La (15878 pieds); son pouls battait 138, celui d'un de ses hommes 104, et il ne signale aucun autre phénomène (p. 23). Mais en montant le 10 août sur un pic de 18342 pieds (5590^{m}) — c'est la plus haute ascension qu'il ait faite, — il rapporte que « beaucoup des hommes devinrent malades, éprouvèrent de violents maux de tête et se couchèrent à terre. (P. 34.)

Il y a plus : dans le récit[2] des longs et importants voyages exécutés par deux jeunes brahmanes, deux frères, que l'administration anglaise envoya visiter des régions où les Européens ne peuvent guère mettre le pied sans risque de la vie, il n'est nullement question d'accidents de la décompression. Et cependant les deux « Pundits » ont certes visité bien des hauts lieux, puisqu'ils ont traversé l'Himalaya dans le Népaul, au pied du Dhawalaghiri, remonté le cours du Brahmapoutra, de Lhasa au lac de Manasarowar, et poussé jusqu'à Gartokh. Mais, exclusivement préoccupés de géographie et aussi de politique, ils ne portent pas leur attention sur des phéno-

[1] *On the Glaciers of the Mustakh Range.* — *The Journal of the royal geogr. Society*, t. XXXIV, p. 19-55; London, 1864.

[2] *Reisen und Aufnahmen zweier Punditen (gebildeter Indier) in Tibet;* 1865 bis 1866. — Petermann's Mittheilungen ; t. XIV, p. 233-243 ; 276-290. 1868.

mènes universellement connus, ou du moins ne croient pas devoir leur donner place dans leur narration.

Cette expédition indigène ayant amené d'excellents résultats, le Trigonometrical Survey envoya, quelques années après, à travers l'Hindu-Kush et le Pamir jusqu'au Turkestan, un employé, le Mirza, dont M. Montgomerie[1] a raconté le voyage. On y trouve quelques détails intéressants pour notre sujet.

Le Mirza arriva, en janvier 1869, à Lunghar, dans les steppes de Pamir :

Toute la troupe, en arrivant à Lunghar (12200 P), souffrit beaucoup du *Dum*, comme l'appelle le Mirza, c'est-à-dire brièveté de la respiration, etc., effet habituel des grandes altitudes. Les natifs le considèrent généralement comme produit par un mauvais vent; quelques-uns des hommes devenaient presque insensibles, mais se relevaient bientôt quand le Mirza leur avait fait manger quelques fruits secs et du sucre. (P. 158.)

Au passage de Chichik-Dawan (15000 pieds) ils souffrirent beaucoup ; tous éprouvaient de grandes difficultés à respirer, que le Mirza essaya en vain de combattre avec son sucre candi et ses fruits secs. (P. 165.)

Dans le même temps, un voyageur anglais, Hayward[2], se dirigeait également vers Kashgar, mais par le petit Thibet, à travers l'énorme chaîne du Karakorum. Il est, lui-même, extrêmement sobre en observations relatives à la raréfaction de l'air.

Le voyage fut exécuté d'octobre 1868 à juin 1869. Traversée de la passe de Masimik, par 18500 pieds (5640^{m}) :

Elle ne présente pas de difficultés, est très-facile, mais les chevaux chargés y souffrent un peu de la raréfaction de l'air. (P. 36.)

Traversée de la passe de Chang-Lang par 18839 pieds (5740^{m}) (p. 38); ascension d'un pic de 19500 pieds (p. 43), d'un autre de 19000 pieds (p. 55-58), sans aucune observation physiologique; il dit seulement :

La difficulté principale au passage de Chang Lang est la détresse des animaux chargés, par suite de l'élévation et de la raréfaction de l'air. (P. 126.)

L'année suivante, en 1870, le « Munschi » Faiz Buksh, parti de Peshawar, dans le haut Pendjab, se dirigeait vers Kashgar, s'effor-

[1] *Report of « the Mirza's » Exploration from Caubul to Kashgar. — The Journ. of the roy. geogr. Soc.*, t. XLI, p. 132-192 ; 1871.

[2] *Journey from Leh to Yarkand and Kashgar, and Exploration of the sources of the Yarkand River. — The Journal of the roy. geogr. Soc.*, t. XL, p. 33-166 ; 1870.

çant, comme tant d'autres envoyés plus ou moins nettement officiels, à ouvrir ces voies nouvelles par lesquelles le commerce, l'influence diplomatique et peut-être les armes de l'Angleterre cherchent à pénétrer dans le Turkestan occidental.

Son récit[1] est très-riche en faits capables de nous intéresser. Il insiste particulièrement sur le Pamir :

Pamir est désigné sous le nom de Bam-i-Dunya (toit du monde), à cause de son altitude. Sa grande élévation est prouvée par l'absence d'arbres et la rareté des oiseaux; l'herbe n'y pousse qu'en été. L'air y est extrêmement raréfié, en telle sorte que la respiration y est difficile pour les hommes et les bêtes. Cette difficulté est nommé *tunk* par les populations du Badakhshan, et du Wakhan, et *ais* par les Mogols. Le foie et l'estomac sont irrités. Les voyageurs souffrent du mal de tête et le sang coule de leur nez. Quand il s'agit de gens de faible constitution, la figure, les mains et les pieds gonflent. Plus il fait froid, plus ces accidents sont marqués. Les natifs se servent d'acides, d'abricots secs, de prunes, pour les combattre. La nuit, si on n'a pas la tête deux pieds plus haut que les jambes, la respiration est arrêtée pendant le sommeil. On souffre de ces malaises à cheval et à pied.

J'ai trente-quatre ans. Sur un des pics de Pamir, mon pouls battait 89 fois à la minute; j'avais mal à la tête, avec irritation du foie et de l'estomac; une fois le sang me coula du nez. Un de mes suivants, nommé Kadir, natif de Peshawur, âgé de vingt-sept ans, eut une attaque de fièvre, avec difficultés à respirer, irritation du foie, gonflement de la face et des extrémités; son pouls battait 99 fois. Un autre, nommé Mehra, natif de Ghizni, âgé de vingt ans, ne ressentit qu'un peu de difficulté à respirer; son pouls était à 75. Une nourriture abondante augmente la difficulté à respirer. (P. 470.). . . . .

Entre Ak Tash et Sarkol est un pic élevé, nommé Shindi Kotal, dont le sommet est constamment couvert de neige; nous y éprouvâmes plus de difficultés à respirer que dans le Pamir..... A la troisième marche après Sarkol est un pic élevé, nommé Yam Bolak, dont le sommet est constamment couvert de neige; nous y éprouvâmes aussi de grandes difficultés à respirer. (P. 472.)

L'expédition que dirigeait la même année Forsyth, de Lahore à Yarkand, par le Ladak, eut à traverser successivement l'Himalaya et le Karakorum. Le récit qu'en a fait Henderson[2] indique fréquemment la constatation d'accidents dus à la raréfaction de l'air.

Le 27 juin 1870, passage de la Namyika Pass, au Ladak :

Bien que le sommet de cette passe ne soit qu'à 12000 pieds de haut, plusieurs de nos hommes souffrirent beaucoup de la difficulté de respirer, qui continua pendant plusieurs heures après que nous eûmes atteint notre camp de Karbu, 600 pieds plus bas; quelques-uns des nôtres ne purent même dormir pendant la nuit pour cette raison. (P. 46.)

[1] *Journey from Peshawar to Kashgar and Yarkand in Eastern Turkestan.* — *The Journ. of the roy. geogr. Soc.*, t. XLII, p. 448-473 ; 1872.

[2] Henderson et Hume, *Lahore to Yarkand. Incidents of the route and natural history of the countries traversed by the Expedition of* 1870, *under T. D. Forsyth.* — London, 1873.

Le 10 juillet, traversée de la passe de Chang-La, du bassin de l'Indus à celui du Shyok, un de ses affluents, à 18000 pieds (5485[m]); peu de neige :

Ce fut la première fois que presque tout le monde dans le camp souffrit de la rareté de l'air. Les observations suivantes, faites après une demi-heure de repos au sommet, peuvent sembler intéressantes :

Baromètre à mercure 15,75. Thermomètre 61° F. Eau bouillant à 181° F.

	Pouls.	Respiration.
Je marchai jusqu'au sommet	80	26
M. Forsyth, qui était à cheval	100	22
M. Shaw id.	94	
Mullik Kutub Deen, du Pendjab, à cheval	92	
Un Hindou du Pendjab, à pied	93	
Un Thibétain, à pied	78	

Plusieurs voyageurs m'ont dit qu'eux et leurs compagnons avaient plus souffert en traversant cette passe que sur d'autres plus élevées. Nous campâmes pour la nuit près d'un petit lac d'eau douce, à 300 pieds au-dessous du sommet de la passe. Les symptômes fâcheux causés par la rareté de l'air ne disparurent que le lendemain, quand nous fûmes à une altitude beaucoup moindre. Quant à moi, même à 19600 pieds, je n'ai jamais ressenti de grands malaises; tout se réduisait à une certaine brièveté de la respiration à la suite de tout exercice, et des réveils pendant la nuit avec un sentiment de suffocation qui disparaissait ordinairement après quelques inspirations profondes. Mais chez plusieurs des nôtres les symptômes étaient très-graves, et même quelquefois alarmants. Ils consistaient en intenses maux de tête, avec grande prostration du corps et de l'esprit, nausées constantes, et une telle irritabilité de l'estomac qu'une simple cuillerée d'eau n'était même pas supportée. Une grande excitabilité de caractère était un autre symptôme marqué; dans quelques cas les lèvres devenaient bleues; chez M. Shaw, un thermomètre de clinique montra une température moindre de 1 ou 2 degrés par rapport à celle des jours précédents. Ayant sur moi une certaine quantité de chlorate de potasse, j'en donnai une forte solution aux malades, plutôt pour leur faire plaisir que dans l'espérance de les soulager. Cependant, il sembla avoir un bon effet, mais en vertu de quoi? je ne me hasarderai pas à le conjecturer. Je ne doute pas que ces accidents des hautes montagnes ne soient simplement temporaires et que l'habitude ne les fasse disparaître, comme le mal de mer. Ils deviennent du reste beaucoup plus intenses lorsqu'on fait quelque ascension étant déjà à une grande hauteur.

Le 11 juillet, nous campâmes à 500 pieds au-dessous de la passe. Là les maux de tête et les nausées cessèrent rapidement. (P. 56 et suiv.)

Le 20 juillet, traversée de la passe de Cayley, passe nouvellement découverte, facile d'accès et qui doit avoir environ 5900[m]; par elle on va du bassin de l'Indus aux plateaux d'Yarkand; il n'y avait pas de neige. Les voyageurs y trouvèrent plusieurs papillons. Ils ne parlent d'aucun trouble physiologique.

Le 21 juillet, campement dans de hautes plaines désertes, à 5000m d'altitude; ils souffrirent beaucoup du vent :

Les voyageurs sont fréquemment tués par ce vent, qui est quelquefois si froid qu'il arrête la vitalité en un temps très-court. Hommes et chevaux souffrirent ici beaucoup de la rareté de l'air. Plusieurs des nôtres se couchèrent en plaine, complétement épuisés, et ne purent regagner notre camp que le lendemain; quelques chevaux qui tombèrent furent abandonnés à leur malheureux sort. (P. 77.)

Ils restèrent plusieurs jours sur ces plateaux élevés, et à ce propos le narrateur ajoute :

Il y a nombre d'observations que je regrette beaucoup de n'avoir pas faites pendant que nous nous trouvions à ces hauteurs, et parmi elles les changements produits dans le pouls, la respiration et la température du corps. Mes compagnons de voyage m'ont bien offert de se soumettre à l'ennui de laisser prendre leur température et compter leur pouls à des moments déterminés, mais je trouvai que j'avais déjà trop de fers au feu (too many irons in the fire). Les quelques observations détachées que je fis n'eurent pas grande valeur, mais elles prouvent clairement que, chez moi du moins, l'altitude n'a que peu d'effets, comme le montrent les chiffres suivants. Je dois mentionner que de nombreuses observations faites sur mes compagnons ont donné de semblables résultats :

	Pouls.	Respir.	Température sous la langue.
Ordinairement.	80	24	98,2
A Sakte (assis depuis plusieurs heures), 12900 pieds, 9 juillet.	90	25	98,3
Sommet de Chang-La; 18000 pieds (5485 mètres), 10 juillet, après avoir marché jusqu'au sommet.	80	26	
Lak Zung, plus de 17500 pieds; 24 juillet. .	75	24	97,8

(P. 79.)

La deuxième partie du livre est consacrée à l'histoire naturelle. L'ornithologie est rédigée par A. O. Hume. J'y relève des observations curieuses sur l'habitat des oiseaux aux grandes hauteurs :

Un des points qui m'ont le plus vivement frappé dans les observations du docteur Henderson, c'est la facilité avec laquelle paraissent vivre les oiseaux à de grandes hauteurs. Notre ami le Coucou se balance sur les branches pendantes des bouleaux, lançant son chant joyeux à une hauteur de 11000 pieds, pendant que la neige couvre le sol. La Huppe semble chez elle à 18000 pieds (5485 mètres), le « Kashmir Dipper, » qui réside au-dessus de 13000 pieds, y cherche des insectes dans les torrents à demi glacés; le « Guldenstadt's Redstart » sautille insoucieux dans la neige à 17800 pieds; la Montifringilla hæmatopygia semble vivre d'une manière permanente entre 14000 et 17000 pieds, et le « Adams's Finch » est commun à 13000 pieds. L'Alouette huppée à long bec se trouve dans des lieux de 12000 à 15000 pieds, tandis que le « Dottrel » mongolien et le « Reddy Shieldrake » vivent à 16000 pieds, et le « Gull » à tête brune à 15000. (P. 163.)

Je terminerai cette longue série de citations par un extrait de l'ouvrage que Fr. Drew[1] a récemment consacré à la géographie du Jummoo et du Cachemire.

Dans la description des hautes vallées du Ladâk, Drew commence par celle de Rupshu, dont l'élévation moyenne est de 14 à 15000 pieds (4270 à 4570^{m}); la limite des neiges perpétuelles y est à 20000 pieds environ. Une pauvre tribu, de cent tentes, y vit, les Rupshu Châmpâs. L'auteur a étudié dans un paragraphe spécial l'influence de l'airr aréfié :

Aux grandes hauteurs, en outre de l'oppression et de la brièveté de la respiration, se font sentir des maux de tête et des nausées, comme il arrive au début de la fièvre ou du mal de mer, mais sans modification dans la température du corps. Chez quelques-uns, aux niveaux élevés, surviennent des vomissements, mais cela n'a pas de suites graves, et tout revient dans l'ordre quand on redescend dans de plus basses régions, à la condition cependant que les organes soient parfaitement sains ; la rareté de l'air est très-propre à découvrir les imperfections des poumons ou du cœur.

La hauteur à laquelle ces effets sont observés varie singulièrement, et il n'est pas facile de trouver la cause de ces irrégularités. L'état du corps y est pour beaucoup; un homme dans de bonnes conditions peut se soutenir bien plus haut qu'un homme qui n'est pas habitué à l'exercice. On s'en aperçoit d'abord quand on fait un peu plus d'efforts qu'à l'ordinaire, comme de courir ou de grimper quelque colline ; dans ces conditions, pour les gens qui vivent au-dessus de 6000 pieds, les effets se font ordinairement sentir dès 11000 ou 12000 pieds. A 14 et 15000 pieds, survient quelquefois ce qu'on peut appeler une attaque de respiration courte, même au repos. La première fois que j'ai visité Rupshu, cela m'arrivait pendant la nuit, quand j'étais couché depuis une demi-heure; mais, après une semaine, je surmontai cette susceptibilité, et je n'ai plus éprouvé, au repos, de difficultés à respirer, lors même que je campais à 2 ou 3000 pieds plus haut. De même, j'ai connu un natif du Panjâb, peu habitué, il est vrai, au travail musculaire, qui eut une attaque à 11000 pieds.

Mais, quoiqu'on puisse ainsi s'habituer jusqu'à un certain point à la rareté de l'air et n'en rien ressentir, le moindre effort suffit pour en manifester les effets. A 15000 pieds, la plus faible pente à monter essouffle autant qu'à une altitude inférieure, de gravir une côte très-raide. Parler ou marcher, même à plat, amène bientôt le manque de respiration. Quand quelqu'un vient sur les grandes hauteurs, — et ici chaque millier de pieds fait un grand changement, — monter une pente est un labeur pénible. J'ai traversé une passe de 19500 pieds qui, plus bas, n'aurait présenté aucune difficulté; et cependant, à chaque 50 ou 60 pas, j'étais absolument obligé de m'arrêter, pantelant, pour reprendre haleine ; mais cependant je n'ai là ressenti ni maux de tête ni autre effet fâcheux; l'habitude de la montagne depuis un mois ou deux m'a permis de m'endormir dans ces circonstances. (P. 291.)

[1] *The Jummoo and Kashmir territories : a geographical account.* — London, 1875.

§ 9. — Afrique.

Atlas. — Plusieurs sommets de l'Atlas marocain, hauts de 11 à 12000 pieds, ont été visités par le docteur Hookes[1], en 1871; il ne parle nullement de malaises.

Monts Cameron. — La première ascension fut faite le 22 décembre 1861, par Burton. Dans le récit qu'il en publia immédiatement[2], il signale quelques troubles singuliers qui doivent très-probablement être expliqués par l'influence de l'altitude :

En montant au volcan, j'étais si fatigué que je ne pouvais plus ouvrir les yeux; j'éprouvai un malaise qui me semblait dû à la fièvre. Je fus obligé de prendre du repos, je dormis une heure, et à quatre heures je me trouvai en état de faire cette ascension. (P. 79.)

La publication générale[3] qu'il fit plus tard de ses voyages aux monts Cameron et à Fernando-Po, n'est pas plus explicite :

M. Saker se plaignit alors de complète surdité. La chaleur brûlante nous enlevait le sentiment. Peut-être était-elle aidée par la raréfaction de l'air. Nous n'étions cependant pas étonnés de si peu souffrir, dans le cours de notre ascension, des inconvénients dont se plaignent tant de voyageurs au mont Blanc et dans les montagnes Rocheuses. (T. II, p. 121.)

Il faut noter qu'ils n'étaient alors qu'à 7000 pieds; mais le lendemain ils terminèrent l'ascension du grand Pic :

Comme nous approchions du sommet, les difficultés de l'ascension augmentèrent. Kharah se laissa tomber à terre, presque évanoui sous les rayons d'un soleil ardent, et fut forcé de rester là. A 1 heure 30, j'arrivai sur le sommet du pic. (P. 155.)

Le 13 janvier 1862, nouvelle ascension par MM. Calvo, Saker et Mann (p. 162-181). Aucun accident signalé.

Mais, dans la relation qu'en publia Mann[4], il déclare « avoir été malade sur le pic Albert et obligé de redescendre (p. 23). »

Enfin, le 29 janvier 1862, ascension de Burton. Il campe à 10187 pieds, et arrive au cône de cendres du mont Albert :

[1] *Letters to S. Roderick Murchison giving an account of his Ascent of the Atlas.* — *Proced. of the roy. geogr. Society,* vol. XV, p. 212 ; 1871.

[2] *Relation d'une ascension aux monts Cameron* (*Afrique occidentale*). — Traduit. in *N. Ann. des voyages;* t. III, p. 71-107 ; 1863.

[3] *Abeokuta.* — London, 2 vol., 1863.

[4] *Forschungen an der Westküste von Africa.* — *Petermann's Mittheilungen,* t. XI; 1865; p. 22-26.

Je remarquai de nouveau l'absence complète de toute souffrance due à la subtilité de l'air. La hauteur est considérable, mais insuffisante, paraît-il, pour occasionner les hémorrhagies des oreilles et des lèvres éprouvées par de Humboldt dans les Andes, et les souffrances de M. Gay-Lussac dans son ballon. (Abeokuta, t. II, p. 198.)

KILIMANDJARO. — Le 11 mai 1844, Rebmann[1] voit le Kilimandjâro couvert de neige. La montagne est « inaccessible, disent les naturels, à cause des mauvais esprits qui avaient tué un grand nombre de ceux qui avaient essayé de la gravir. » (P. 276).

Aussi ne peut-il tenter aucune ascension.

En 1861, le baron de Decken atteignit une certaine hauteur sur les flancs de l'immense montagne, dont Thornton[2], son compagnon, estima l'élévation à 22814 pieds (6952^{m}).

Le 27 novembre 1862, il put monter assez haut pour éprouver quelques malaises. Le docteur Kersten[3], qui l'accompagnait, rapporte qu'ils s'arrêtèrent à 4223^{m}, à cause du froid, avant d'atteindre la limite des neiges :

La montée, dit-il, ne laissait pas que d'être assez pénible, et l'on était souvent obligé de s'arrêter tout court. Anamouri, l'un des individus que nous avions loués, se trouva aussi indisposé. (P. 36.)

Le baron de Decken[3] s'exprime lui-même plus clairement sur l'action de l'altitude :

Parvenu vers 11 heures et un quart à une hauteur de 4225 mètres, je m'arrêtai, car il y avait nécessité, mes gens n'ayant pu aller plus loin sans craindre des douleurs de poitrine. Le docteur Kersten éprouvait également les influences d'un air trop vif. (P. 49.)

Enfin, le 30 août 1871, New[4] est arrivé sur le Kilimandjaro jusqu'à la limite de la neige perpétuelle :

Mes hommes m'abandonnèrent, se plaignant du froid. Je continuai, seul avec Tofiki. Cela alla bien pendant une heure et demie ; mais alors Tofiki s'affaissa, à peine capable de parler. Il me pria de continuer, me disant qu'il m'attendrait, mais qu'il mourrait si je ne revenais pas. J'arrivai à la glace, en brisai quelques morceaux et descendis ensuite.

Oui, de la neige en Afrique, s'écrie-t-il avec enthousiasme! Qu'a

[1] *Journal d'une excursion au Djagga, le pays des neiges de l'Afrique orientale. — N. Ann. des Voy.* ; t. CXXII, p. 257-307, 1849.

[2] *Notes on a journey to Kilimandjaro, made in company of the Baron von der Decken. — The Journal of the R. géog. Soc.* ; t. XXXV, p. 15-21 ; 1865.

[3] *Ascension du Kilimandjaro, dans l'intérieur de l'Afrique orientale. — N. Ann. des Voyages* ; 1864, t. I, p. 28.

[4] *Alpine Journal* ; t. VI, p. 51-52. — London, 1874, cahier d'avril 1872.

dû penser de ce témoignage sans réplique le savant rédacteur des *Nouvelles annales des Voyages* qui, en 1849, niait que Rebmann ait pu voir de la neige sur le Kilimandjaro ?

§ 10. — **Volcans du Pacifique.**

Bornéo. — Le sommet le plus élevé de cette vaste île paraît être le Kini-Ballu, dont la hauteur (4175ᵐ) est à peu près celle de la Jungfrau.

Une première tentative d'ascension fut faite le 11 mars 1851 par Low[1]. Il n'est pas arrivé à plus de 2850ᵐ, et considère que le sommet, qu'il estime à 13 ou 14000 pieds, est « inaccessible pour qui n'a pas des ailes ».

Et cependant, en avril 1858, il atteignit le sommet, en compagnie de M. Spencer Saint-John. Celui-ci ressentit très-légèrement, comme le montre son récit, les effets de l'air raréfié :

> Pendant l'ascension, dit Spencer[2], je souffris légèrement de la brièveté de la respiration et éprouvai quelque paresse à me mouvoir. Mais, à peine arrivé au sommet, ces symptômes m'abandonnèrent, et il me sembla que j'étais plus léger, que je pouvais flotter dans les airs.
> Le thermomètre, au sommet, marquait 62° F. (T. I, p. 271.)

En juin 1858, seconde ascension du même voyageur. Cette fois, il ne dit pas un mot des symptômes physiologiques.

Dans une autre partie de l'île, un autre explorateur anglais, Brooke[3], montait en mars 1858 sur le Tabalau Indu. Il est difficile de ne pas faire une part à l'altitude dans les causes de cet *ikak* dont parlent les naturels et qu'éprouva un de ses compagnons :

> Il fallut grimper durement ; la chaleur était excessive ; chaque pas semblait le dernier qu'on pût faire.... Nous atteignîmes le sommet et nous y reposâmes avec satisfaction. Le pauvre X... souffrait beaucoup et se coucha sur le dos, tandis que quelques-uns de ses serviteurs allèrent à la recherche de « l'ami du voyageur », une racine très-abondante dont on tire une eau fraîche avec un léger goût de bois. C'est une grande erreur de boire, car on en a sans cesse envie, et on est pris de ce que les natifs appellent « ikak », un resserrement désagréable dans la poitrine, avec difficulté de respirer. (P. 305.)

[1] *Notes of an ascent of the mountain Kina-Balow.* (*The Journal of the indian Archipelago.* Vol. VI, p. 1-17). — Singapore, 1852.
[2] *Life in the forests of the far East,* 2 vol. — London, 1862.
[3] *Ten years in Sarawak.* — London, 1866.

MALACCA. — Dans son ascension au mont Ophir, Braddel[1] éprouva quelques troubles :

J'eus, dit-il, en arrivant près du sommet, un violent mal de tête et de forts battements dans les tempes; je me lavai le front avec de l'eau-de-vie, ce qui me remit.... Mais j'éprouvais une fatigue particulière et m'étendis sur le sol. (P. 87.)

JAPON. — La première ascension du Fusi-yama dont j'ai trouvé le récit fut exécutée en 1860 par Rutherford Alcock[2]. Il estime à 14177 pieds (4320m) la hauteur de ce volcan éteint, depuis 1707. Il lui fallut huit heures pour arriver au sommet; et ce ne fut pas sans ressentir l'influence de la raréfaction de l'air :

La dernière moitié de l'ascension fut de beaucoup la plus rude.... L'air se raréfiait beaucoup et affectait évidemment la respiration.... Il nous fallut plus d'une heure d'efforts, en nous arrêtant fréquemment pour respirer, et reposer nos jambes et nos dos qui nous faisaient mal; nous étions, en arrivant, tout à fait au bout de nos forces. La température était 54° F. (P. 344.)

Gubbins[3], qui monta sur le volcan le 10 août 1872, ne se plaint que de la fatigue. Mais Jeffreys[4], dont l'ascension est du 4 mai 1874, indique nettement de véritables accidents de décompression, atteignant même les indigènes :

Comme nous grimpions avec peine, une forte envie de dormir nous saisit, et les coolies n'y pouvaient résister lorsque nous nous arrêtions. L'un d'eux fut même hors d'état de continuer et il fallut le laisser en route.... Nous terminâmes à grand'peine l'ascension et arrivâmes au sommet à midi précis. (P. 172.)

KAMSCHATKA. — La seule ascension que je connaisse du plus haut volcan du Kamschatka, le Klioutchef (4805m), a été faite par Erman[5], le 10 septembre 1829. Il ne parle d'aucun trouble physiologique.

HAWAÏ. — Le 15 juin 1825, des Européens montaient pour la première fois sur le Mauna Keah, la « Montagne Blanche » (4195m); c'étaient un missionnaire et quelques officiers du vaisseau

[1] *Notes of a Trip to the interior from Malacca.— The Journäl of the indian Archipelago*, t. VI, p. 73-104. — Singapore, 1853.

[2] *Narrative of a journey in the interior of Japan, in* 1860. — *The Journ. of the R. Geograph. Soc.*, t. XXXI, p. 321-356, 1861.

[3] *Ascent of Fuji-Yama. Proceedings of the R. Geogr. Soc.*, vol. XVII, 1873; p. 78-79.

[4] *Ascent of Fuji-Yama in the Snow. Proceedings of the Royal Geogr. Soc.*, mars 1875; p. 169-173.

[5] *Reise um die Erde, in die Jahren* 1828, 29 *und* 30. — *Historique*, 3e vol., p. 363 et suiv.

anglais *la Blonde*. Le commandant Byron[1] dit, en racontant cette expédition :

Le lieutenant et le trésorier furent tellement accablés par le sommeil, qu'ils se couchèrent sur le roc nu, pour se reposer.

Lord Byron y monta à son tour le 27 juin; mais il ne parle d'aucun malaise.

Le 12 janvier 1834, ascension du Mauna Kea par David Douglas[2], et le 29 janvier, du Mauna Loa, « la Grande Montagne » (4250^m) : aucune indication de troubles physiologiques. Même silence de la part de Lœvenstern[3], qui monta, en janvier 1839, sur le Mauna Loa. Du reste, son récit ne contient que quelques lignes.

La grande expédition que le gouvernement des États-Unis envoya autour du monde, sous le commandement de Wilkes[4], fit un long séjour à Hawaï. Du 21 décembre 1840 au 13 janvier 1841, Wilkes et plusieurs de ses officiers campèrent sur les flancs du Mauna Loa ; à plusieurs reprises, ils en atteignirent le point culminant. Ce ne fut pas impunément qu'ils vécurent ainsi pendant trois semaines à de telles hauteurs; déjà, en montant, ils souffrirent sérieusement :

Le thermomètre s'était abaissé à 18°, et beaucoup de nos hommes furent fortement affectés du mal des montagnes, avec maux de tête et fièvre, jusqu'à devenir incapables de rien faire. Je fus moi-même très-souffrant par cette cause, ayant de forts battements dans les tempes, avec la respiration courte, douloureuse et angoissée. (P. 149.)

Officiers, matelots et natifs arrivèrent avec mille difficultés au pied du cratère terminal, à 13440 pieds (4095^m). Le lendemain matin, leur malaise se dissipa un peu. Le campement fut maintenu pendant trois semaines à ces grandes hauteurs, et le récit détaillé des opérations géodésiques et physiques auxquelles ils se livrèrent montre qu'ils souffrirent fréquemment du mal des montagnes :

Tout le monde l'éprouva plus ou moins. Le Dr Judd remarqua que chez les natifs les symptômes étaient ordinairement des coliques, des vomissements, de la

[1] *Voyage of H. M. S.* Blonde *to the Sandwich Islands, in the years* 1824-1825. — London, 1826.

Extract from a private Letter addressed to Captain Sabine. — Journal of the R. Geograph. Soc., t. IV, p. 333-344. — London, 1834.

Aperçu d'un voyage autour du monde. Bull. de la Soc. de Géogr., 2e série, t. XVI, p. 166-177, 1841.

Narrative of the United States exploring Expedition during the years 1838, 39, 40, 41, 42, t. IV. — Philadelphie, 1844.

diarrhée ; un ou deux furent affectés de crachements de sang, quelques-uns eurent de la fièvre et du frisson. Nous eûmes presque tous une teinte jaune de la peau, des maux de tête et des vertiges, quelques-uns de l'asthme et du rhumatisme....

Le Dr Judd trouva également qu'on avait grand'faim, mais sans être capable de manger. Pendant le jour, le moindre exercice augmentait chez nous tous la rapidité du pouls de 30 à 40 pulsations. (P. 177.)

Depuis ce temps, je n'ai trouvé dans les récits des voyageurs[1] qui sont montés sur les volcan d'Hawaï ou de Mauï aucune indication de malaises physiologiques.

[1] Sawkins, *On the Volcanic Mountain of Havaii. Journ. of the Roy. Geogr. Soc.*, t. XXV, p. 191-194 ; 1855. — Robert Haskell, *On a Visit to the Recent Eruption of Mauna Loa, Hawaii. The American journal of science and arts.* 2e sér., t. XXVIII ; 1859, p. 66-71. — Wilmot, *Our journal in the Pacific.* London, 1873.

CHAPITRE II

ASCENSIONS EN BALLON.

A la fin du dix-huitième siècle, l'admirable découverte des frères Montgolfier introduisit dans la question de la décompression un élément nouveau. Ici, le voyageur ne s'élève plus, avec grands efforts, et non sans une certaine lenteur, jusqu'aux régions où l'air raréfié peut agir sur son organisme ; il y est emporté sans fatigue et avec une grande rapidité.

Les montgolfières, ou ballons à air chaud, ne pouvant monter régulièrement qu'à une faible hauteur, nous n'avons point à nous en occuper. Nous rappellerons seulement pour mémoire que les premiers aéronautes, Pilâtre du Rozier et le marquis d'Arlandes, quittèrent le sol le 21 novembre 1783, et traversèrent Paris dans une montgolfière.

Mais l'histoire des ballons à gaz est riche en faits intéressants pour notre sujet.

Le 1er décembre de cette même année 1783, le physicien Charles, qui venait d'inventer le ballon à hydrogène, faisait l'épreuve de sa machine dans des conditions bien plus émouvantes et périlleuses encore que les deux intrépides aéronautes dont je viens de citer les noms. Cette ascension, comme l'on sait, s'opéra en deux temps : Charles, parti des Tuileries à une heure trois quarts, atterrit à trois heures et demie dans la plaine de Nesles ; il laissa descendre de la nacelle son compagnon Robert ; puis, délesté, son ballon s'élança de nouveau dans les airs avec une rapidité extra-

ordinaire. Il dépassa ainsi, en moins de dix minutes, quinze cents toises; le baromètre s'arrêta à dix-huit pouces dix lignes.

Le récit[1] de l'habile physicien, plein d'un enthousiasme bien justifié, nous le montre « interrogeant ses sensations, *s'écoutant vivre*, et n'éprouvant rien de désagréable dans le premier moment ». Mais bientôt :

Au milieu du ravissement inexprimable de cette extase contemplative, je fus rappelé à moi-même par une douleur très-extraordinaire que je ressentis dans l'intérieur de l'oreille droite et dans les glandes maxillaires; je l'attribuai à la dilatation de l'air contenu dans le tissu cellulaire de l'organisme, autant qu'au froid de l'air environnant.... Je me couvris d'un bonnet de laine qui était à mes pieds; mais la douleur ne se dissipa qu'à mesure que j'arrivai à terre.

Cette merveilleuse invention mit le monde entier en émoi; on se berça, sur l'utilité pratique des ballons, des plus ardentes illusions. Parmi les idées étranges que firent naître ces expériences par lesquelles l'homme prenait pour la première fois possession des airs, l'une des plus curieuses est celle qui inspira, moins d'un an après la première ascension, une thèse soutenue en 1784 devant la Faculté de médecine de Montpellier. Louis Leullier-Duché[2], son auteur, eut la pensée d'appliquer au traitement des maladies l'élévation en ballon.

« L'effet, dit-il, sera triple : mouvement, froid, changement de l'air. »

Il insiste surtout sur ce dernier point :

La partie essentielle de l'air, dit-il, est pour l'homme l'air déphlogistiqué (oxygène). Or, dans quelle proportion est-il uni avec le phlogistique aux diverses régions de l'atmosphère? Les chimistes ne l'ont pas déterminé. Mais comme le phlogistique est plus léger, il doit y en avoir davantage à une très-grande hauteur.... Le voisinage de la terre est la propre région de l'air déphlogistiqué. Mais on ne peut douter qu'il n'y soit vicié par diverses émanations de corps volatils.... Ainsi donc, dans cette partie de l'atmosphère qui est la région de l'air déphlogistiqué, celui-ci est d'autant plus pur qu'on s'éloigne davantage de la surface de la terre. De plus, comme il y fait plus froid, l'air déphlogistiqué y est accumulé et condensé.

Or, Leullier-Duché attribue les vertus curatives les plus énergi-

[1] Manuscrit conservé à la Bibliothèque de l'Institut, sous le titre de *Second Mémoire de M. Charles sur l'Aérostatique*, 1784. Voir aussi l'*Art de voyager dans les airs ou les ballons*, contenant les moyens de faire les globes aérostatiques, suivant la méthode de MM. de Montgolfier, et suivant les procédés de MM. Charles et Robert.— Paris, 1784, sans nom d'auteur (par Piroux, selon le *Dictionnaire des Anonymes de Barbier*).

[2] *De aerostatum usu medicinæ applicando.* — Thèses de Montpellier, 1784.

ques à l'oxygène, et le considère comme agissant même sur la génération et la mort :

Les naissances à Montpellier se rapportent aux mois de printemps et les morts aux mois d'automne : pendant le printemps, l'atmosphère est plus chargée d'air déphlogistiqué que fournit la végétation des plantes, et pendant l'automne leur putréfaction dégage une plus grande quantité d'air inflammable ou phlogistique (c'est l'azote qu'il désigne sous cette double dénomination).

Leullier-Duché propose donc d'employer les aérostats contre les fièvres intermittentes, pestilentielles, nerveuses, contre le rachitisme, le scorbut, l'hystérie, la chlorose, les mélancolies, les plaies indolentes, etc.

Nous avons vu que l'inventeur du ballon à hydrogène, dans le premier, dans l'unique voyage qu'il fit, éprouva quelques sensations pénibles pour s'être élevé rapidement à une hauteur d'environ 3000^{m}. Il s'agissait simplement d'une dilatation des gaz contenus dans l'oreille moyenne, gaz qui, vu la rapidité de l'ascension, n'avaient pas eu le temps de s'échapper par l'orifice de la trompe d'Eustache. De plus sérieux accidents ne devaient pas tarder à être constatés.

Le 12 brumaire an VII (Voir le *Moniteur*, p. 173), Testu-Brissy s'éleva, monté sur un cheval, à une assez grande hauteur.

Dans un petit livre[1] « dédié à l'enfance », une curieuse gravure le représente à cheval sur une plate-forme que soutient un ballon *cylindrique*. Après quelques détails sur l'ascension de l'aventureux aéronaute, l'auteur, qui dit l'avoir connu, déclare que :

Le but du savant fut atteint ; il acquit la certitude qu'à un degré d'élévation dont il n'était nullement incommodé, le sang des grands quadrupèdes, apparemment moins fluide que celui de l'homme, s'extravasait dans les artères et coulait par le nez et par les oreilles. Content d'avoir pris la nature sur le fait, il redescendit de la hauteur considérable à laquelle il s'était élevé, et rendit compte de son expédition à l'Institut, avec une modeste simplicité. (P. 95).

Il est difficille d'attacher beaucoup d'importance à ce récit.

Deux années après Charles, un aéronaute qui, après avoir joui d'une popularité prodigieuse, devait mourir pauvre et obscur, Blanchard, dont, il est vrai, la parole ne peut avoir une grande autorité, prétendit s'être élevé, le 20 novembre 1785, de Gand, jusqu'à la hauteur de 32000 pieds (10400^{m}) :

[1] Mme B***, née de V***, *le Cirque olympique*, etc., suivi du *Cheval aéronaute* de M. Testu-Brissy. — Paris, 1817.

Je m'élevai, dit-il[1], avec une rupture d'équilibre de 35 livres..... En moins de deux minutes, je me vis éloigné de la terre de plus 4500 pieds..... La dilatation de l'air inflammable fut telle..... que je montai à une hauteur incroyable, qui, selon le rapport de mon instrument, était à 32000 pieds de terre. . . . .

Je voguais dans l'immensité des airs à la merci des vents, éprouvant un froid que jamais mortel n'a ressenti dans les climats les plus rigoureux. La nature languissait, j'éprouvais un engourdissement, prélude d'un sommeil dangereux, lorsque, me levant malgré le peu de force qui me restait, je m'armai de courage, j'entrai dans mon ballon et à l'aide du manche de mon drapeau..... je mis le pôle inférieur en pièces. (P. 7.)

Le résultat de cette manœuvre fut une chute rapide, qui se termina heureusement, après une série d'incidents curieux.

Blanchard annonça brièvement son voyage dans une lettre[2] adressée au *Journal de Paris*. Il est évident qu'il était monté très-haut; mais son observation ou son calcul étaient certainement erronés.

L'astronome de Lalande, qui se piquait aussi d'aérostation, se montra fort peu crédule. Il écrivit[3] aux éditeurs de ce singulier recueil pour réfuter les assertions du vaniteux aéronaute :

Paris, 7 décembre 1785.

Messieurs,

Il s'est glissé probablement une faute dans l'article que vous avez rapporté le 5 de ce mois au sujet du voyage aérien de M. Blanchard, fait le 21 novembre du côté de Gand; on y lit qu'il s'est élevé à 32000 pieds, ce qui ferait 5333 toises; la plus grande hauteur où l'on ait été jusqu'ici est de 2434 toises, et la grande dilatation de l'air fait qu'il serait probablement impossible de s'élever ni de respirer à une hauteur qui serait plus que double..... A 2430 toises de hauteur le baromètre n'est plus qu'à 16 pouces. M. de la Condamine l'a observé à 15 pouces 11 lignes, mais aucun homme ne l'a vu plus bas. Si l'on pouvait s'élever à 5441 toises, le baromètre ne serait plus qu'à 8 pouces, et il est vraisemblable que l'hémorrhagie et la mort en seraient bientôt l'effet.

De Lalande.

Suit une table donnée par de Lalande, indiquant les rapports entre la pression barométrique et la hauteur :

27 pouces	158 toises	12 pouces	3679 toises
:	:	11	4057
16	2430	10	4472
15	2710	9	4929
14	3010	8	5441
13	3332	7	6021

[1] *Relation du seizième voyage aérien de M. Blanchard,* dédiée à S. A S. Mgr le prince de Ligne; br. in-4° de 17 p. — Gand, 1786.

[2] *Journal de Paris,* 5 décembre 1785.

[3] *Ibid.,* 20 décembre 1785; p. 1466.

Pour le dire en passant, Lalande reproduit cette table dans l'*Annuaire du bureau de longitudes* pour l'année 1805, puis il ajoute :

Ces derniers nombres seront probablement éternellement inutiles; l'espèce humaine ne verra jamais le baromètre à 11 pouces, à moins que, par des moyens artificiels, on ne parvienne à donner de l'air aux poumons et à diminuer l'effort de l'air intérieur. (P. 94.)

Dans l'*Annuaire* de 1806, la réflexion sur l'impossibilité d'atteindre 11 pouces est supprimée. Il est dit seulement :

Les derniers nombres seront probablement inutiles : M. Gay-Lussac n'a pu aller qu'à 3584 toises. (P. 99.)

Rectification prudente, car 11 pouces correspondent d'après Lalande à 4057 toises (7907 mètres), hauteur de beaucoup dépassée depuis, comme on le verra, par Glaisher et Coxwell et par Gaston Tissandier.

Mais revenons à Blanchard ; il ne se tint pas pour battu, et répondit assez fièrement dans le *Journal de Paris*[1] :

Messieurs,

Si je n'ai point répondu plus tôt à la lettre que vous a adressée M. de Lalande sur une prétendue erreur au sujet de mon voyage à Gand, dans lequel je dis m'être élevé à la hauteur de 32000 pieds, ce n'est point faute de moyens; je ne le ferai pas même aujourd'hui, me réservant de discuter son opinion d'une manière plus étendue dans la collection des journaux de mes voyages que je me propose de donner au public. La nature de votre journal, Messieurs, ne me permettrait point une aussi longue discussion.

M. de la Condamine, dit mon illustre antagoniste, est le seul homme qui ait observé le baromètre au degré le plus bas, et il l'a observé, ajoute-t-il, à 15 pouces 11 lignes. Il ne servirait de rien de lui rappeler que j'ai dit l'avoir vu à 14 pouces dans mon voyage de Lille avec le chevalier de l'Epinard, et plus bas encore en Angleterre, parce que, des paroles n'étant pas des preuves, il conserverait à cet égard la même incrédulité. Connaissant toute la supériorité de M. de Lalande, je n'ai garde de lutter avec lui qu'avec des armes victorieuses ; et comme des faits démentent quelquefois les calculs les plus sûrs, je me borne dans ce moment-ci à l'inviter, ainsi que je viens de le faire par une lettre particulière, à me faire l'honneur de m'accompagner dans ma prochaine ascension ; il sera pour lors convaincu que les raisonnements les mieux fondés ne sont rien contre la certitude d'un fait.

J'ai l'honneur d'être, etc.

BLANCHARD.
Citoyen de Calais, pensionnaire du roi.

On sait que de Lalande répondit au défi.

[1] 5 janvier 1786, p. 18.

Il faut lire dans le *Journal de Paris*[1] sa curieuse correspondance avec Blanchard à ce propos. Le 8 thermidor an VII, ils s'élevèrent tous deux avec la fameuse flottille de cinq ballons inventée par le célèbre aéronaute. Ils espéraient, en se servant des courants, s'en aller jusqu'à Gotha « voir, avec délices, disait Lalande, un prince et une princesse qui, par leurs connaissances et leur zèle pour les sciences, donnent l'exemple à tous les autres » ; mais, hélas ! l'un des ballons creva, l'astronome et le citoyen de Calais retombèrent sans gloire au bois de Boulogne.

Mais laissons là des récits manquant de précision et peut-être de véracité. Nous rentrons dans le domaine des tentatives scientifiques avec les remarquables ascensions de Robertson et, bientôt après, de Gay-Lussac.

La plus importante ascension du physicien français Robertson[2] eut lieu à Hambourg, le 18 juillet 1803. Il partit à neuf heures du matin, accompagné de M. Lhoëst, son condisciple et compatriote; le baromètre marquait 28 pouces, le thermomètre de Réaumur 16° :

Pendant les différents essais dont nous nous occupions, nous éprouvions une anxiété, un malaise général ; le bourdonnement d'oreilles dont nous souffrions depuis longtemps augmentait d'autant plus que le baromètre dépassait les treize pouces. La douleur que nous éprouvions avait quelque chose de semblable à celle que l'on ressent lorsque l'on plonge la tête dans l'eau. Nos poitrines paraissaient dilatées et manquaient de ressort, mon pouls était précipité; celui de M. Lhoëst l'était moins : il avait, ainsi que moi, les lèvres grosses, les yeux saignants ; toutes les veines étaient arrondies et se dessinaient en relief sur mes mains. Le sang se portait tellement à la tête, qu'il me fit remarquer que son chapeau lui paraissait trop étroit. Le froid augmenta d'une manière sensible ; le thermomètre descendit alors assez brusquement jusqu'à 2° et vint se fixer à 5° 1/2 au-dessous de glace, tandis que le baromètre était à 12 pouces 4/100. A peine me trouvais-je dans cette atmosphère, que le malaise augmenta : j'étais dans une apathie morale et physique ; nous pouvions à peine nous défendre du sommeil que nous redoutions comme la mort. Me défiant de mes forces, et craignant que mon compagnon de voyage ne succombât au sommeil, j'avais attaché une corde à ma cuisse, ainsi qu'à la sienne ; l'extrémité de cette corde passait dans nos mains. C'est dans cet état, peu propre à des expériences délicates, qu'il fallut commencer les observations que je me proposais. (T. I, p. 70.). . . . .

A ce point élevé, l'état où nous nous trouvions était celui de l'indifférence : là, le physicien n'est plus sensible à la gloire et à la passion des découvertes ; le danger même qui résulte dans ce voyage de la plus légère négligence ne l'occupe guère ; ce n'est qu'à l'aide d'un peu de vin fortifiant qu'il parvient à retrouver des intervalles de lumière et de volonté.

[1] 16 et 20 messidor et 10 thermidor an VII.

[2] Robertson, *Relation adressée au président de l'Acad. imp. de Saint-Pétersb.*, dans ses *Mémoires récréatifs, scientifiques et anecdotiques*, 2 vol. — Paris, 1840.

Comme je ne veux rien omettre de ce qui peut jeter quelque jour sur les fonctions de l'économie animale et les opérations de la nature à cette élévation, je dois faire remarquer que, lorsque le baromètre était encore à 12 pouces, mon compagnon m'offrit du pain : je fis de vains efforts pour l'avaler, et je ne pus jamais y parvenir. Si l'on considère attentivement l'état de l'atmosphère où j'étais, et dont la grande rareté n'offrait qu'une légère résistance à ma poitrine qui se dilatait; si l'on considère la petite quantité d'oxygène que doit contenir le fluide dans lequel je nageais, on pourra croire que mon estomac, déjà plein d'un air plus dense et appauvri par la perte de l'oxygène, n'était point propre à recevoir des aliments solides et encore moins à les digérer. Je dois ajouter que les sécrétions naturelles ont été suspendues chez mon ami et chez moi pendant les cinq heures de voyage, et qu'elles n'ont eu lieu que trois heures après notre retour sur la terre. . . . .

Septième expérience. J'avais emporté deux oiseaux : au moment de l'expérience j'en trouvai un mort, sans doute par la raréfaction de l'air ; l'autre paraissait assoupi. Après l'avoir placé sur le bord de la gondole, je cherchai à l'effrayer pour lui faire prendre la fuite : il agita ses ailes, mais ne changea pas de place; alors je l'abandonnai à lui-même, et il tomba perpendiculairement avec une extrême vitesse. Il n'y a point de doute que les oiseaux ne pourraient se maintenir à cette élévation. (P. 76.). . . . .

On peut évaluer l'élévation de l'aérostat, en tenant compte de toutes les corrections, à 3679 toises (7170 mètres)[1]. (P. 83.)

Le numéro du 16 mars 1876 du journal *Les Mondes* dit à ce propos :

Si, à un certain passage de sa relation, Robertson dit être monté à 7170 mètres, dans un autre il ne dit plus que 7075; en calculant à l'aide des tables actuelles de l'*Annuaire du Bureau des longitudes* sur les données de température et de pression enregistrées par Robertson, on trouve seulement 6881^{m} pour la hauteur maxima (Ch. Boissay).

Robertson envoya le récit de son ascension et des expériences de physique qu'il y avait exécutées, à la Société galvanique; un rapport fut fait[2], duquel nous extrayons le passage suivant :

Nous savons depuis longtemps qu'un animal ne peut passer impunément d'un air auquel il est habitué dans un air beaucoup plus dense ou beaucoup plus rare. Dans le premier cas, il a à souffrir de l'effort de l'air extérieur, qui le presse outre mesure ; dans le second cas, ce sont les liquides ou fluides élastiques faisant partie de son système, qui, moins pressés qu'ils ne doivent l'être, se dilatent et agissent contre leur enveloppe. Dans l'un et l'autre cas, ce sont à peu près les mêmes effets, anxiété, malaise général, bourdonnement d'oreilles et souvent des hémorrhagies ; l'expérience de la cloche du plongeur nous avait depuis longtemps indiqué ce qui arriverait aux aéronautes. Notre collègue et son compagnon de voyage ont éprouvé ces effets dans une grande intensité; ils avaient les lèvres gonflées, les yeux saignants ; les veines arrondies se dessinaient en relief sur leurs mains, et, ce

[1] C'est donc par erreur que tous les auteurs, sans exception, ont attribué à l'ascension de Robertson une élévation de 7470^{m}.

[2] Par Izarn (Voir le *Moniteur universel*, 25 janvier 1804).

qui est très-remarquable, ils conservèrent l'un et l'autre un teint brun rougeâtre qui étonnait ceux qui les avaient vus avant leur ascension.

Cette distension des vaisseaux, dans leurs ramifications extrêmes, doit nécessairement produire un embarras, une gêne dans tous les mouvements musculaires ; et c'est principalement à cette cause que je crois qu'il faut attribuer les vains efforts que fit notre collègue pour avaler le pain que son compagnon de voyage lui présenta lorsqu'ils étaient encore à une hauteur marquée par 12 pouces du baromètre. (Mém., t. I, p. 106.)

Un aéronaute qui se rendit célèbre en descendant le premier (29 octobre 1797) de ballon en parachute, Jacques Garnerin, voulut enlever à son rival Robertson le mérite de l'ascension la plus élevée. Il prétendit, comme le prouve l'extrait suivant du *Journal de Paris*[1], être monté jusqu'à 4200 toises (8186^{m}) :

M. Garnerin écrit de Saint-Pétersbourg, *pour l'intérêt des sciences et des arts*, que des barbares ont mutilé, à Paris, la relation du voyage aérien qu'il a entrepris à Moscou le 3 octobre dernier, et dans lequel il s'éleva tout juste à la hauteur de 4200 toises, sans avoir éprouvé d'autre accident qu'une hémorrhagie par les narines, et un peu de malaise par le froid. Heureuse occasion d'entretenir le public de ses querelles avec M. Robertson, qu'il appelle *l'aéronaute de Hambourg*, et dont il conteste l'esprit d'observation et la véracité ! « Je me suis élevé, dit M. Garnerin, 521 toises plus haut que l'aéronaute de Hambourg, et je ne me suis pas aperçu que la matière fût diminuée de pesanteur, je n'ai pas vu le soleil sans éclat, ni le ciel sans azur. Je n'ai senti ni apathie extraordinaire, ni difficulté d'avaler, ni envie de dormir, etc..... »

Rien ne semble moins authentique que l'assertion de Garnerin ; les faits que nous rapporterons tout à l'heure montrent qu'à la hauteur où il dit être parvenu il aurait éprouvé des troubles physiologiques très-graves.

Dans cette même année, une ascension des plus émouvantes avait lieu à Bologne.

Le comte Fr. Zambeccari, de Bologne, le docteur Grassetti, de Rome, et Pascal Andreoli, d'Ancône, partirent dans la nuit du 7 au 8 octobre 1803. Ils avaient passé la journée à gonfler leur ballon qui mesurait 14000 pieds cubes, et voulaient ne partir que le lendemain ; mais ils durent se hâter, devant le désordre et les cris de la populace de Bologne. Le ballon s'éleva avec une rapidité extrême, et ils arrivèrent bientôt à une telle hauteur, que Zambeccari et Grassetti, saisis par le froid et épuisés par une série de vomissements, tombèrent dans une espèce de défaillance accompagnée d'un profond sommeil. Le récit sommaire, inséré dans les

[1] 20 janvier 1804 ; an XII, t. I, p. 73

Annales de Gilbert[1], raconte comme suit leurs souffrances et leur malheur :

Andreoli, qui avait conservé l'usage de ses sens, ne put pas lire le baromètre, parce que la bougie qu'ils avaient emportée dans une lanterne s'était éteinte. Vers 2 heures 1/2 du matin, le ballon commença à descendre, et Andreoli entendit distinctement le bruit des vagues qui se brisaient sur les côtes de la Romagne. Il réveilla ses compagnons..... La nacelle et le ballon tombèrent dans la mer Adriatique, et cela avec une telle violence, que l'eau jaillit autour d'eux à la hauteur d'un homme. Les aéronautes, couverts d'eau, jetèrent en grande hâte un sac de sable, leurs instruments, et tout ce que contenait leur nacelle.

Alors le ballon s'élança une seconde fois rapidement dans les airs. Ils traversèrent trois couches de nuages, et leurs vêtements se couvrirent d'une couche épaisse de glace ; l'air était si raréfié, qu'ils pouvaient à peine s'entendre l'un l'autre. Vers 3 heures le ballon descendit de nouveau.

Le triste pamphlétaire allemand Kotzebue[2], pendant son voyage en Italie, rendit visite à Zambeccari, cet homme « dont les yeux sont des pensées ». L'intrépide aéronaute lui fit un récit détaillé de cette terrible ascension du 7-8 octobre, dans laquelle il faillit périr :

Je m'enlevai à minuit, dit-il..... Soudain nous montâmes avec une rapidité inconcevable. . . . .

Nous ne pouvions observer l'état du baromètre qu'à la lueur d'une lanterne, et très-imparfaitement. Le froid insupportable qui régnait dans la région où nous nous trouvions, l'épuisement où m'avait mis le défaut de nourriture depuis 24 heures, le chagrin qui accablait mon âme, tout cela réuni m'occasionna une défaillance totale, et je tombai sur le bas de la galerie dans une espèce de sommeil semblable à la mort. Il en arriva autant à mon compagnon Grassetti. Andreoli fut le seul qui resta éveillé et bien portant, sans doute parce qu'il avait l'estomac bien garni et qu'il avait bu du rhum en abondance. A la vérité, il souffrait aussi beaucoup du froid, qui était excessif, et fit pendant longtemps de vains efforts pour me réveiller. Enfin, il réussit à me remettre sur les pieds, mais mes idées étaient confuses ; je lui demandai, comme si je fusse sorti d'un rêve : Qu'y a-t-il de nouveau ? où allons-nous ? quelle heure est-il ? d'où vient le vent ?

Il était deux heures. La boussole était à bas, par conséquent elle nous devenait inutile ; la bougie qui était dans notre lanterne ne pouvait brûler dans un air aussi raréfié, sa lumière s'affaiblissait de plus en plus, et finit par s'éteindre. (T. IV, p. 301-303.)

Ils tombèrent alors dans la mer ; puis, ayant jeté tout ce que contenait leur nacelle, ils s'élevèrent de nouveau :

Avec une telle rapidité, à une si prodigieuse élévation, que nous avions de la peine à nous entendre même en criant ; je me trouvai mal, et il me prit un vo-

[1] *Abeutener des Grafen Z... bei einer nachtlichen Luftfahrt.* — *Gilbert's Annalen der Physik*, vol. XVI, p. 205-209 ; 1804.

[2] *Souvenirs d'un voyage en Livonie, à Rome et à Naples*, faisant suite aux *Souvenirs de Paris*. Traduit de l'allemand. — Paris, 4 vol., 1806.

missement considérable. Grassetti saigna du nez ; nous avions tous deux la respiration courte et la poitrine oppressée. Comme nous étions trempés jusqu'aux os au moment où la machine nous avait transportés dans ces hautes régions, le froid nous saisit rapidement, et nous fûmes couverts en un instant d'une couche de glace. Je n'ai pu me rendre compte de la raison pour laquelle la lune, qui était dans son dernier quartier, se trouva en ligne parallèle avec nous, et nous parut rouge comme du sang. Après avoir parcouru pendant une demi-heure ces régions immenses, et avoir été portée à une hauteur incommensurable, la machine recommença à descendre lentement, et nous retombâmes encore une fois dans la mer ; il était environ quatre heures du matin. (T. IV, p. 305.)

Les malheureux aéronautes tomés dans l'Adriatique y restèrent, jouets des vents et des flots, jusqu'à huit heures, où une barque les sauva, non sans grandes difficultés. Ils avaient les pieds et les mains gelés, et Zambeccari dut se faire amputer trois doigts.

L'année suivante, Robertson[1] fit, le 30 juin, une nouvelle ascension, accompagné du physicien russe Sacharoff ; mais ils ne virent s'abaisser le baromètre qu'à 22 pouces, et n'éprouvèrent rien de notable.

Cette même année 1804, deux jeunes physiciens, Biot et Gay-Lussac[2], furent chargés par l'Institut de France d'une mission scientifique dans les airs. Ils devaient tout particulièrement s'occuper des variations dans la puissance magnétique, que de Saussure croyait avoir constatées sur le col du Géant.

Les deux savants partirent le 6 fructidor, à dix heures du matin, du jardin du Conservatoire des Arts. Comme ils ne s'élevèrent pas au-dessus de 4000^m par une température de + 10°, ils ne devaient éprouver aucun trouble physiologique sérieux. Aussi ne disent-ils que quelques mots de cet ordre de faits :

Nous observâmes les animaux que nous avions emportés ; ils ne paraissaient pas souffrir de la rareté de l'air ; cependant le baromètre était à 20 pouces 8 lignes, ce qui donne une hauteur de 2622 mètres. Une abeille violette, à qui nous avions donné la liberté, s'envola très-vite et nous quitta en bourdonnant. . . . . .

Notre pouls était fort accéléré ; celui de M. Gay-Lussac, qui bat ordinairement 62 pulsations par minute, en battait 80 ; le mien, qui donne ordinairement 89 pulsations, en donnait 111. Cette accélération se faisait donc sentir pour nous deux à peu près dans la même proportion. Cependant notre respiration n'était nullement gênée ; nous n'éprouvions aucun malaise, et notre situation nous semblait extrêmement agréable. . . . .

Nous avons observé nos animaux à toutes les hauteurs ; ils ne paraissaient souffrir en aucune manière. Pour nous, nous n'éprouvions aucun effet, si ce n'est cette accélération du pouls dont j'ai déjà parlé.

[1] *Ascension de Robertson et Sacharoff,* le 30 juin 1804. — *Annales de Chimie,* 1804, vol. LII, p. 121 (Récit de Robertson). — *Philosophical Magazine,* 1805 ; t. XXI, p. 193 (Récit de Sacharoff).

[2] *Relation d'un voyage aérostatique fait par MM. Gay-Lussac et Biot ; lue à la classe*

Suit le récit de ce qui arriva à un verdier et à un pigeon, lâchés à 3400 mètres; le pigeon ouvrit les ailes et se laissa tomber en décrivant des cercles, comme les grands oiseaux de proie.

Gay-Lussac[1] repartit seul, quelques jours après, et s'éleva beaucoup plus haut que la première fois. Les accidents d'ordre physiologiques furent très-supportables; il s'en exprime ainsi :

Parvenu au point le plus haut de mon ascension, à 7016 mètres au-dessus du niveau de la mer, ma respiration était sensiblement gênée ; mais j'étais encore bien loin d'éprouver un malaise assez désagréable pour m'engager à descendre. Mon pouls et ma respiration étaient très-accélérés : ainsi, respirant très-fréquemment dans un air très-sec, je ne dois pas être surpris d'avoir eu le gosier si sec, qu'il m'était pénible d'avaler du pain. . . . .

Ce sont là toutes les incommodités que j'ai éprouvées. (P. 89.)

Robertson fait à propos de ce récit une observation intéressante, parce qu'elle montre quelle cause il assigne aux phénomènes qu'il a éprouvés lui-même :

Je ne pense pas qu'il y ait professeur de physique qui n'ait parlé à ses auditeurs du poids de la colonne d'air qui correspond à la surface du corps d'un homme, et qui n'ait démontré que ce poids énorme est rendu insensible à ce corps par l'équilibre établi entre la pression de l'air extérieur et la réaction des fluides élastiques qui font partie de son système intérieur. Il n'en est pas qui n'ait démontré quels doivent être les effets de la rupture de cet équilibre. (*Mém.*, t. I, p. 107.)

Mais rien n'autorisait Robertson à tirer de ces réflexions l'étrange conclusion qui suit :

Je ne pense pas que M. Biot ait changé tout cela. On ne peut donc se refuser à conclure que les effets éprouvés par M. Lhoëst et par moi, puis par M. Sacharoff, n'ont rien que de très-rationnel ; tandis que ceux éprouvés par MM. Biot et Gay-Lussac y dérogent au point qu'ils ont besoin d'être expliqués. Or, la seule explication possible, c'est que ces aéronautes ne sont pas montés assez haut, ou bien qu'ils sont montés si lentement, qu'il n'y a pas eu pour eux rupture d'équilibre, sans quoi l'on ne voit pas ce qui aurait pu les préserver d'éprouver les effets qui en sont la suite inévitable. (Ibid., p. 108.)

Ce doute jeté si gratuitement sur la véracité des observations de savants comme Biot et Gay-Lussac, a dû appeler de justes représailles, et il n'est pas pour peu de chose dans le discrédit immérité qui depuis a frappé les assertions de Robertson.

des sciences mathématiques et physiques de l'Institut national, le 9 fructidor an XII. — *Moniteur universel* du 12 fructidor an XII (30 août 1804).

[1] *Relation d'un voyage aérostatique fait par M. Gay-Lussac le 29 fructidor an XII.* — *Ann. de Chimie*, t. LII, p. 75-94, an XIII.

L'ascension de Gay-Lussac eut un retentissement mérité. Mais on alla trop loin en passant complétement sous silence celles qui l'avaient précédée. Robertson se plaignit, non sans raison, qu'on eût méconnu le rôle qu'il avait antérieurement joué :

M. Biot, dit-il, a imprimé dans son traité de physique, et ne manque pas de répéter dans ses cours au Collége de France, que M. Gay-Lussac s'est élevé à la plus grande hauteur où l'homme soit parvenu jusqu'à ce jour. Cette assertion, toute fausse qu'elle est, s'accrédite parmi la jeunesse, parce que je n'ai personne qui puisse dire chaque année à quelques centaines d'auditeurs que, plus d'un an avant l'ascension de M. Gay-Lussac, je m'étais élevé à 3630 toises ; et viendra bientôt le temps où personne ne saura ou ne se souviendra qu'avant l'ascension de MM. Biot et Gay-Lussac, j'en avais fait une semblable, et, comme la leur, dans l'intérêt de la science, mais pendant laquelle l'air de ces hautes régions s'était montré pour moi moins hospitalier que pour ces messieurs. (Mém., t. I, p. 117.)

Peu d'années après, en août 1808, un des compagnons de l'infortuné Zambeccari, Andreoli, s'éleva de Padoue, et atteignit, s'il faut l'en croire, une hauteur bien supérieure à celle où étaient parvenus ses prédécesseurs. Le correspondant du *Journal de Paris*[1], qui raconte le fait, paraît attacher peu de foi au récit de l'aéronaute italien, récit bien extraordinaire en effet, et dans lequel on ne sait ce dont il faut le plus s'étonner, ou de la montée ou de la descente des imprudents et heureux aéronautes :

Italie. Padoue, 23 avril 1808.

M. Andreoli entreprit hier dans cette ville un voyage aérostatique, qui n'a pas été très-heureux, et sur la relation duquel tous les gens instruits élèvent des doutes injurieux à la véracité du physicien. Suivant cette relation vraiment curieuse, et dont on se moquera peut-être à Paris, M. Andreoli, accompagné de M. Brioschi, s'éleva à 3 heures 1/2 de l'après-midi, en présence d'un grand nombre de spectateurs. Le baromètre étant descendu à 15 pouces (à 15 pouces ! est-on bien sûr de ce qu'on dit, et sait-on qu'à ce degré l'air doit être et est en effet prodigieusement raréfié ? Et dans ce cas, comment les deux voyageurs eussent-ils respiré ?) à cette élévation, Brioschi commença à sentir des battements de cœur extraordinaires, sans cependant s'apercevoir d'aucune altération pénible dans la respiration : le baromètre s'abaissant ensuite à 12°, il se sentit accablé d'un doux sommeil, qui devint bientôt une véritable léthargie (on ne dit pas ce qu'éprouva M. Andreoli, et comment il résista au puissant narcotique qui accablait son compagnon). La machine montait toujours et quand le baromètre fut environ à 9 pouces (c'est-à-dire à une hauteur beaucoup plus grande que celle de la plus élevée des Cordillères), Andreoli s'aperçut qu'elle était totalement gonflée et qu'il ne pouvait faire aucun mouvement de sa main gauche. Le mercure, continuant à descendre, *marqua* 8 *pouces* 1/2. Alors le globe fit entendre une forte détonation ; fendant l'air avec un grand bruit, il commença à descendre ra-

[1] 9 septembre 1808.

pidement (je le crois), et alors M. Brioschi s'éveilla (non sans frayeur). La chute eut lieu sur le château d'Engança, non loin du tombeau de Pétrarque et de la ville d'Acqua, à 12 milles de Padoue; et ce qu'il y a de plus merveilleux dans ce récit si merveilleux d'un bout à l'autre, c'est que les voyageurs, protégés sans doute par un génie échappé des *Mille et une nuits*, n'ont pas éprouvé le plus petit mal, la plus petite égratignure. Voilà certes un miracle qui doit déconcerter tous les calculs des physiciens ordinaires. Quoi qu'il en soit les voyageurs prirent des chevaux de poste, et vinrent à 8 heures 1/2 recevoir à Padoue des félicitations que méritait, de toutes manières, un si prodigieux succès.

Je dois noter ici que le célèbre aéronaute anglais M. Glaisher[1] paraît disposé à ajouter foi à ces faits extraordinaires; il fait remarquer qu'Andreoli, habitué aux ascensions, a beaucoup moins souffert que son compagnon. Et, quant à la possibilité de survivre à une aussi effroyable chute, il la discute avec autorité et l'admet sans grande hésitation. (P. 161.)

Le 29 août 1811, deux Anglais, Beaufoy et Sadler[2], exécutèrent une ascension, dans laquelle ils ne dépassèrent pas six mille pieds, et qui ne présente d'intéressant pour nous que la sensation éprouvée par Beaufoy « d'une légère pression dans les oreilles et d'un peu de surdité », et surtout l'explication bizarre qu'en donna le voyageur : il attribua cet effet à « l'humidité reçue sans chapeau pendant le voyage. » (P. 296.)

Le 26 avril 1812, la veuve de Blanchard, qui devait si misérablement périr, le 6 juillet 1819, sur un toit de la rue de Provence, fit à Turin une ascension dans laquelle elle prétendit s'être élevée à une très-grande hauteur. Le *Journal de Paris*[3] en rendit compte dans les termes suivants :

Elle avait emporté avec elle un baromètre..... A 15 pouces 6 lignes, le froid était glacial; à 14 pouces 1 ligne, Mme Blanchard dit avoir éprouvé une diminution de froid; à 12 pouces 11 lignes, elle ressentit un battement de l'artère près de l'angle extérieur de l'œil gauche et une espèce de tremblement de la paupière inférieure du même œil. A 12 pouces 3 lignes, elle eut une forte hémorrhagie au nez.

Peu de minutes après, le baromètre marqua 10 pouces 3 lignes, qui est son plus grand abaissement.... Cette indication porte la plus grande élévation de Mme Blanchard à 3900 toises (7600m) ; à cette hauteur le froid était insupportable, le thermomètre de Réaumur était à 17° au-dessous de la glace. . . . . .

La couleur du ciel paraissait presque noire..... Le soleil n'avait pas ses rayons ordinaires et présentait un diamètre beaucoup plus petit que celui qu'il offre

[1] *Travels in the Air, by Glaisher, Flamarion, W. de Fonvielle and G. Tissandier*, 2e éd. — London, 1871.
[2] *Biblioth. britann*, t. LVII, p. 286-300; 1814.
[3] 8 mai 1812.

lorsqu'on le regarde de la surface de la terre. Un moment après ces observations, le thermomètre baissa encore d'un degré, et Mme Blanchard, presque engourdie, se décida à descendre.

Robertson éleva quelques doutes sur l'exactitude des observations barométriques de Mme Blanchard. La note qu'il envoya au *Journal de Paris*[1] contient, sur les souffrances que Lhoëst et lui avaient éprouvées dans leur ascension de juillet 1803, des faits qui ne sont point insérés dans le récit détaillé que nous avons reproduit plus haut :

L'élévation à laquelle vous annoncez que Mme Blanchard s'est élevée dernièrement à Turin doit d'autant plus étonner vos lecteurs qu'elle doit être regardée comme le dernier degré de la témérité de l'homme..... D'abord je dois avouer que je crois impossible à l'homme, avec un aérostat de 20 pieds de diamètre, dont se sert ordinairement Mme Blanchard, de s'élever assez haut pour faire descendre le mercure à 10 pouces. . . . .

Lorsqu'on arrive à l'élévation de 3600 toises, l'homme succombe par degré et d'une manière insensible à un sommeil léthargique : ses facultés morales s'éteignent longtemps avant ses facultés physiques. D'abord on n'a ni mémoire, ni soucis pour le présent et pour l'avenir ; on oublie la surveillance qu'exige l'aérostat ; bientôt un sommeil lent et doux, auquel on sent l'impossibilité de résister, assoupit tous les membres et tient l'aéronaute dans une asphyxie complète, et sans doute mortelle si elle est prolongée. . . . .

En juillet 1803..... je me suis élevé à Hambourg avec M. Lhoëst.... Le baromètre descendit à 12 pouces et quelques lignes (lorsque nous jouissions encore de nos facultés). Le ciel nous parut brun ; le soleil était sans éclat ; on pouvait le fixer sans être ébloui ; nous eûmes une légère hémorrhagie, et enfin nous éprouvâmes tout ce que Mme Blanchard vient de nous annoncer. Nous succombâmes dans cette ascension au sommeil ; mais la partie inférieure du ballon.... donna la liberté au gaz chassé par la dilatation. Nous sortîmes de cet assoupissement tous les deux à la fois et subitement, sans pouvoir dire ce qui s'était passé, sinon qu'il y avait eu une solution de continuité dans nos idées.

Eugène Robertson[2], l'un des fils du célèbre aéronaute, s'éleva le 16 octobre 1826, de Castle-Garden à New-York, jusqu'à 21000 pieds (6400^{m})[3], dans un ballon de 16000 pieds cubes, gonflé à l'hydrogène :

La respiration était laborieuse et pénible, les facultés étaient émoussées, le froid insupportable, surtout aux mains. (Therm. à 21° F.)

Le 12 février 1835, ce même aéronaute[4] partit de Mexico et alla

[1] 16 mai 1812.

[2] *Silliman's American journal*, vol. XII, p. 161-168; 1827.

[3] L'ouvrage de Roch (*Essai sur les Voyages aériens d'Eug. Robertson;* Paris, 1831), dit 3533 toises (6886^{m}).

[4] *Relation du premier voyage aérostatique exécuté dans la République mexicaine.* — Paris, 1835.

jusqu'à 5928ᵐ. Il examina de près le cratère de l'ancien volcan la *Chicle*, et s'éleva « au-dessus d'une pépinière de monts. »

Le fameux aéronaute anglais Green, qui a fait, au témoignage de Glaisher[1], plus de quatorze cents ascensions, est très-certainement monté plusieurs fois à de grandes hauteurs; mais il paraît s'être très-peu préoccupé de mesures exactes, et ses chiffres portent l'empreinte d'une grande exagération.

L'une de ses ascensions, qui eut lieu en 1821, est curieuse par la nature du gaz avec lequel il gonfla son ballon; il employa l'oxyde de carbone, qui le porta à 11000 pieds[2]. Mais ceci ne touche pas à notre sujet.

Le 20 avril 1831, le docteur Forster[3] exécuta avec Green un voyage aérostatique qui ne dépassa pas 6000 pieds, hauteur à laquelle ils demeurèrent pendant quatre heures. Leurs observations physiologiques n'ont guère porté que sur les phénomènes de surdité qui atteignent les voyageurs en montagne et les aéronautes. Forster les considère comme ayant dans les deux cas des causes très-différentes, et dus, dans le premier, à un sentiment de plénitude dans les oreilles, dans le second à un véritable affaiblissement de l'ouïe.

L'exagération extravagante des affirmations de Green commence à se manifester dans une note du rédacteur du *Froriep's Notizen*[4], qui rapporte naïvement que Green avait fait deux cent vingt-six ascensions, dans lesquelles plusieurs fois il avait, assurait-il, dépassé 6000 *toises*, sans éprouver de difficultés à respirer.

Le récit que Green[5] donna lui-même de la catastrophe par laquelle, le 27 septembre 1836, son compagnon de route Cocking perdit la vie, indique une hauteur qu'il ne faudrait peut-être pas accepter de confiance. On sait que Green joua dans cette folle aventure un fort triste rôle. Cocking avait fabriqué un parachute *à l'envers* sur l'absurdité duquel personne ne pouvait concevoir de doute; Green consentit cependant à l'emmener. Le malheureux Cocking détacha son parachute au moment où le ballon dépassait 5000 pieds; il tomba comme une pierre. En même temps, le ballon, délesté, bondit à de grandes hauteurs :

[1] *Les Voyages aériens.* — Paris, 1870, p. 27.
[2] *Einiges über die Luftreize des H. Green in London am Krönungstage des Königs. Froriep's Notizen*, vol. I, p. 71 ; 1822. — Voy. encore : *Ibid*, vol. V, p. 202; 1823.
[3] *Bericht über eine Luftschiffarht. Ibid*, vol. XXXII, p. 49; 1831.
[4] *Neue Froriep's Notizen*, t. I, p. 8; 1837.
[5] Lettre au *Standard*, juillet 1837.

Nous nous élevâmes alors avec une telle rapidité que nous fûmes presque suffoqués; j'avais beaucoup de peine à reprendre mes sens et à examiner le baromètre: mais M. Spencer observa que le mercure s'arrêta à 13,20 ce qui donne une élévation de 24384 pieds (7430^{m}), ou environ 4 milles 1/4.

Mais cela n'est rien à côté de ce qu'il raconta d'une ascension faite avec Rusch; le pathologiste Henle[1] rapporte cette assertion prodigieuse comme une chose toute simple, et sans faire d'observation :

Dans ses ascensions en ballon, Green dit n'avoir éprouvé aucune accélération du pouls, ni de la respiration, excepté lorsqu'il s'élevait rapidement en jetant du lest.

En 1838 il s'éleva avec Rusch à la hauteur de 27,136 pieds (8268 mètres), où il vit le baromètre s'abaisser à 10 pouces 32; les premiers 11000 pieds (3350 mètres) furent franchis en 7 minutes, sans autres incommodités que celles qui ont été signalées plus haut. (P. 386.)

A beau mentir qui vient de haut! Un aéronaute italien prétendit avoir encore dépassé la fabuleuse hauteur que disait avoir atteinte l'aéronaute anglais. On lit en effet, dans les comptes-rendus de l'Académie des sciences de Paris[2] :

M. Bonafoux écrit qu'à l'occasion des fêtes de mariage du prince héréditaire de Savoie, M. Comaschi a fait à Turin une ascension aérostatique, dans laquelle, s'il n'y a pas eu erreur dans l'observation du baromètre, M. Comaschi se serait élevé à 9474 mètres au-dessus du niveau de la mer; mais la différence de température semblerait indiquer une moindre hauteur.

Le récit de Hobard, s'il ne donne pas de renseignements d'une grande précision, paraît du moins véridique; il est inséré dans le *Courrier français* du 9 octobre 1835 :

Le 17 août 1835, un aéronaute, M. Hobard, avait couru les plus grands dangers dans une ascension qu'il avait faite à Lynchburg, en Virginie; il s'était enlevé à sept heures du soir, et, en moins d'une heure, il avait pris terre à environ treize lieues de la ville. M. Hobard, dans sa relation, dit que peu de minutes après son départ il perdit entièrement la terre de vue. A sept heures et demie, il fit sa dernière observation et s'estima à plus d'une lieue de hauteur. Il aperçut alors deux météores, l'un dans le nord et l'autre dans l'ouest; ce dernier semblait s'approcher rapidement, mais il disparut tout d'un coup, à la grande satisfaction de M. Hobard, qui craignait qu'il n'embrasât son aérostat. Peu de temps après, une bourrasque emporta le ballon et l'enleva en tourbillonnant à une hauteur que l'aéronaute ne jugea pas moindre de 26000 pieds (7925^{m}), d'après la difficulté qu'il éprouvait à respirer et la perte entière de l'ouïe. Il voulut laisser échapper du gaz et manœuvrer la soupape ; mais, n'entendant plus, il ne put juger, comme à l'ordinaire, de la fuite du gaz par le bruit qu'il fait en s'échappant. Il voyait néan-

[1] *Handbuch der rationnellen Pathologie. Bd.* II, 2e *abth;* 1851.
[2] T. XIV, p. 921 ; 1842.

moins que le ballon ne se dégonflait pas sensiblement, et il appréhendait de le voir crever ; il craignait aussi que quelqu'une de ses veines ne vînt à se rompre, tant la raréfaction de l'air les avait fait se dilater. La première de ses craintes ne tarda pas à se réaliser. Sans crever entièrement, le ballon s'était fendu par le haut, et se dégonflant rapidement descendit avec une très-grande vitesse. Fort heureusement pour M. Hobard, la chute de l'aérostat fut amortie par un jeune sapin dont la tige flexible le protégea du choc terrible qu'il aurait éprouvé. Il fut néanmoins jeté hors de la nacelle et considérablement froissé, mais qu'était-ce que quelques contusions auprès de la mort cruelle à laquelle il s'attendait ! En évaluant sa plus grande élévation à 26000 pieds, M. Hobard s'est basé sur ce que l'air raréfié avait affecté ses organes d'une manière plus pénible que ne l'avaient éprouvé des aéronautes qui s'étaient élevés à 25000 pieds, maximum de la hauteur à laquelle on était parvenu jusqu'alors dans les ascensions aérostatiques.

Il faut arriver à la mémorable ascension accomplie le 27 juillet 1850, par MM. Barral et Bixio, pour retrouver la certitude et la précision scientifiques. Mais, à notre point de vue, ce voyage, si utile à la météorologie, n'offre qu'un médiocre intérêt. En effet, sous l'influence d'une pression barométrique de 315^{mm}, correspondant à une hauteur de 7016^{m}, et malgré un froid de 39° au-dessous de zéro, les deux intrépides voyageurs n'éprouvèrent aucun accident physiologique qui ait attiré leur attention : « Notre respiration, disent-ils seulement, n'était nullement gênée [1]. »

Deux ans plus tard, des ascensions non moins importantes au point de vue scientifique étaient faites en Angleterre par M. Welsh[2] :

En juillet 1852, le Comité de l'observatoire de Kew résolut d'instituer une série d'ascensions en ballon pour l'étude des phénomènes météorologiques et physiques qui exigent la présence d'un observateur dans les hautes régions de l'atmosphère. (P. 311.)

J. Welsh, qui s'adjoignit Nicklin, fut chargé de la partie scientifique ; la direction du ballon fut confiée au célèbre aéronaute Green. La première ascension eut lieu le 17 août, les aéronautes allèrent jusqu'à 19510 pieds (5945^{m}) ; dans la seconde (26 août), ils n'allèrent qu'à 19100 pieds (5820^{m}) ; et, dans la troisième, à 12640 pieds (3850^{m}) seulement. Mais le 10 novembre ils atteignirent en une heure 22930 pieds (6987^{m}) et demeurèrent plus de 10 minutes

[1] *Journal d'un voyage aéronautique fait le* 27 *juillet* 1850. — *Cpt. R. Acad. des sc.*, t. XXXI, p. 126 ; 1850.

[2] *An Account of Meteorological Observations in four Balloon Ascents, made under the direction of the Kew Observatory Committee of the British Association for the advancement of science, by John Welsh. — Philosophical Transactions*, t. CXLIII, p. 311-347 ; 1853.

au-dessus de 20000 pieds; la descente s'opéra avec une rapidité extraordinaire :

À cette hauteur, bien plus grande que toutes celles que nous avions précédemment atteintes, les effets de la diminution de pression se firent davantage sentir. M. Green et moi nous éprouvâmes à un très-haut degré la difficulté de respirer, avec plus d'essoufflement et de fatigue après le moindre exercice. (P. 320.)

À de bien moindres élévations encore, un célèbre météorologiste anglais, M. Glaisher, observa des modifications importantes de la respiration et de la circulation.

Les ascensions de M. Glaisher constituent la plus belle série de voyages aériens qui aient été entrepris dans un but scientifique. Un certain nombre d'entre elles l'entraînèrent à de très-grandes hauteurs, et il en est une qui demeurera éternellement célèbre, dans laquelle il faillit périr par suite de la décompression. J'extrais de la publication des *Voyages aériens*[1] les faits suivants, qui intéressent notre thèse.

La première ascension eut lieu le 30 juin 1862; Glaisher et son conducteur de ballon Coxwell atteignirent 8000 mètres :

Entre les hauteurs de 4700^m et 5900^m, le thermomètre marque 6° au-dessus de zéro..... Les palpitations de mon cœur commencent à devenir sensibles, et ma respiration n'est pas moins perturbée, mes mains bleuissent, et mon pouls, devenant fébrile, bat 100 pulsations à la minute.

À 6168^m, nous nous trouvons dans une couche à zéro degré....; mon pouls s'accélère encore, et c'est avec une difficulté croissante que je parviens à lire les instruments; j'éprouve un malaise général, analogue au mal de mer, quoiqu'il n'y ait ni roulis ni tangage dans le ballon.... Le bleu du ciel est devenu plus pur. (P. 47.)

L'édition anglaise que publia en 1871 M. Glaisher de l'ouvrage précité[2] donne un récit assez différent des symptômes éprouvés par le savant aéronaute. Tout d'abord, la date de cette ascension est indiquée au 17 juillet et non au 30 juin :

À la hauteur de 18844 pieds (5740^m), mon pouls battait 100 fois par minute; à 19435 pieds (5920^m), je percevais les battements de mon cœur; le tic-tac du chronomètre semblait très-bruyant et ma respiration commença à être affectée; mon pouls était encore plus accéléré, et c'est avec une difficulté croissante que je lisais mes instruments; les palpitations du cœur se faisaient violemment sentir. Mes mains et mes lèvres prenaient une teinte bleuâtre foncée, mais non la face..... À 21792 pieds (6640^m), j'éprouvais une sorte de mal de mer, bien qu'il n'y ait ni roulis ni tangage à bord du ballon; j'étais si malade que j'étais incapable de surveiller les instruments..... Le ciel paraissait bleu très-foncé. (P. 44.)

[1] Glaisher, Flammarion, de Fonvielle, G. Tissandier, *Voyages aériens*. — Paris, 1870.
[2] *Travels in the Air*, 2e éd. — London, 1871.

2e *Ascension, le* 18 *août* 1862. Les voyageurs ont atteint 7100 mètres, point culminant de l'ascension :

Je tâtai le pouls de M. Coxwell[1], qui ne donnait que 90 pulsations à la minute, tandis que le mien s'éleva rapidement. De 100 il passa à 107 et de là à 110, sans que celui de mon compagnon fût sensiblement modifié..... En descendant, nous entendons un nouveau coup de tonnerre gronder dans les nuages dont nous nous rapprochons rapidement. Est-ce la vitesse croissante de notre mouvement descendant qui m'oppresse? Est-ce la tension électrique qui en grandissant porte le trouble dans les sources cachées de la vie?..... Je l'ignore, mais j'éprouve un malaise soudain, une espèce de tremblement nerveux. Heureusement, après une minute d'angoisses, un admirable spectacle vient m'aider à triompher de cette défaillance passagère. (*Voyages aériens*, p. 57.)

Vient enfin la célèbre ascension du 5 septembre 1862 ; c'est la troisième. Le départ de Wolverhampton eut lieu à une heure trois minutes par une température de + 15°. A une heure trente-quatre minutes, les aéronautes sont arrivés à 5200 mètres environ ; la température est de — 9°; il n'y a plus de vapeur d'eau dans l'air. Les premiers troubles physiologiques se manifestent alors :

A 1h34, je m'aperçus que M. Coxwell commençait à être essoufflé, ce qui n'est pas étonnant, puisqu'il était sans relâche occupé aux manœuvres du ballon. . .

A 1h39, nous atteignîmes la hauteur de 6437m [c'est celle du Chimborazo]..... Nous jetons le sable...., dix minutes nous suffisent pour bondir à la hauteur du Dawalagiri : la température était tombée à — 18°,9. . . . .

Jusqu'à ce moment, j'avais pris mes observations sans difficultés, tandis que M. Coxwell, qui était obligé de se donner des mouvements pour la manœuvre, semblait fatigué. A 1 heure 51 minutes, le baromètre marquait 11,05 pouces. On s'aperçut plus tard, par une comparaison avec le baromètre étalon de lord Wrottesley, qu'il fallait diminuer ce chiffre de un quart de pouce. J'ai lu ensuite sur le thermomètre à boule sèche — 5 degrés, vers 1 heure 52 minutes environ. Bientôt il me fut impossible d'apercevoir la colonne de mercure dans le thermomètre à boule humide, ni les aiguilles d'une montre, ni les divisions fixes d'aucun de mes instruments. Je demandai à M. Coxwell de m'aider à prendre les chiffres qui m'échappaient, mais, par suite du mouvement de rotation du ballon, qui n'avait point cessé depuis que nous avions quitté la terre, la corde de la soupape s'était entortillée. M. Coxwell dut donc sortir de la nacelle et monter sur le cercle pour l'arranger. Je tournai mon attention vers le baromètre; je vis qu'il marquait 10 pouces, et qu'il descendait rapidement. Sa vraie hauteur, en tenant compte de la correction soustractive d'un quart de pouce, était 9 pouces trois quarts, ce qui indiquait une hauteur de 29000 pieds (8838m). Peu après, je m'appuyai sur la table avec le bras droit, qui jouissait de toute sa vigueur un instant auparavant; mais, quand je voulus m'en servir, je m'aperçus qu'il n'était plus en état de me rendre aucun service. Il doit avoir perdu sa puissance instantanément. J'essayai de me servir du bras gauche, et je vis qu'il était également paralysé. Alors je

[1] M. Coxwell était un aéronaute de profession ; l'ascension du 30 juin était la première de M. Glaisher.

cherchai à remuer le corps, et je réussis jusqu'à un certain point; mais il me semblait que je n'avais plus de membres; j'essayai encore une fois de lire le baromètre, et pendant que je me livrais à cette tentative, ma tête tomba sur mon épaule gauche. Je remuai, et j'agitai de nouveau mon corps; mais je ne pus parvenir à soulever mes bras. Je relevai la tête, mais ce fut seulement pour un instant ; elle retomba de nouveau.

Mon dos était appuyé sur le bordage de la nacelle et ma tête sur un des angles. Dans cette position, j'avais les yeux fixés sur M. Coxwell qui se trouvait dans le cercle. Quand je parvins à me soulever sur mon siége, j'étais tout à fait maître des mouvements de l'épine dorsale, et je possédais incontestablement encore un grand pouvoir sur ceux du cou, quoique j'eusse perdu le contrôle de mes bras et de mes jambes; mais la paralysie avait fait de nouveaux progrès. Tout à coup, je me sentis incapable de faire aucun mouvement. Je voyais vaguement M. Coxwell dans le cercle, et j'essayais de lui parler, mais sans parvenir à remuer ma langue impuissante. En un instant, des ténèbres épaisses m'envahirent; le nerf optique avait subitement perdu sa puissance. J'avais encore toute ma connaissance et mon cerveau était aussi actif qu'en écrivant ces lignes. Je pensai que j'étais asphyxié, que je ne ferais plus d'expériences et que la mort allait me saisir, à moins que nous ne descendions rapidement. D'autres pensées se précipitaient dans mon esprit, quand je perdis soudainement toute connaissance, comme lorsque l'on s'endort.

Ma dernière observation eut lieu à 1 heure 54 minutes, à 29000 pieds. Je suppose que 1 ou 2 minutes s'écoulèrent avant que mes yeux cessassent de voir les petites divisions des thermomètres, et qu'un même laps de temps se passa encore avant mon évanouissement. Tout porte à croire que je m'endormis à 1 heure 57 minutes d'un sommeil qui pouvait être éternel. Je ne pouvais pas bouger, quand j'entendis les mots *température* et *observation*. Je sentis que M. Coxwell me parlait et qu'il essayait de me réveiller; l'ouïe et la conscience m'étaient donc revenues. Je l'entendis alors parler plus fort, mais je ne pouvais le voir; il m'était bien plus impossible de lui répondre ou de me mouvoir. Il me disait : « Essayez maintenant, essayez. » Alors je vis vaguement les instruments, et bientôt après les objets environnants. Je me levai et regardai autour de moi, dans l'état où je serais en sortant d'un sommeil fiévreux, qui épuise au lieu de reposer. « Je me suis évanoui, » dis-je à M. Coxwell. « Certainement, me répondit-il, et il s'en est peu fallu que je m'évanouisse aussi. » Je ramenai alors mes jambes, qui étaient étendues droites, et je repris un crayon pour continuer les observations. M. Coxwell me raconta qu'il avait perdu l'usage de ses mains, qui étaient devenues noires et sur lesquelles je versai de l'eau-de-vie.

Il ajouta que, pendant qu'il avait été dans le cercle, il avait été saisi par un froid extrême et que des glaçons étaient suspendus autour de l'orifice du ballon, comme une effrayante girandole, digne des mers polaires. En essayant de descendre du cercle, il ne pouvait plus se servir de ses mains, et il fut obligé de se laisser glisser sur ses coudes pour revenir dans la nacelle, où j'étais étendu. Il pensa, en me voyant sur le dos, que je me reposais, et il me parla sans obtenir de réponse. Ma contenance était sereine et tranquille, sans cette anxiété qu'il avait remarquée avant de monter dans le cercle.

Voyant que mes bras et ma tête pendaient, M. Coxwell comprit que j'étais évanoui. Il chercha à m'approcher, mais ne put y parvenir, sentant que l'insensibilité le gagnait lui-même. Alors il voulut ouvrir la soupape, mais, ayant perdu l'usage de la main, il ne put y réussir. Il ne serait point parvenu à tempérer notre

course, s'il n'avait eu l'idée de saisir la corde entre ses dents[1] et de lui imprimer deux ou trois mouvements en secouant violemment la tête.

Je repris mes observations à 2 heures 7 minutes, et les premiers chiffres que j'enregistrai furent 292 millimètres pour le baromètre et 18 degrés pour le thermomètre. Je suppose que 3 ou 4 minutes s'écoulèrent depuis le moment où j'entendis les premiers mots de M. Coxwell jusqu'au moment où je recommençai à lire mon chronomètre et mes autres instruments. S'il en est ainsi, je revins à la vie à deux heures 4 minutes et je suis resté tout à fait évanoui pendant 7 minutes. (P. 59-64.). . . . .

. . . .

Je n'éprouvai aucune suite fâcheuse de mon évanouissement..... Je fis à terre huit ou neuf milles aussi aisément que si rien ne m'était arrivé. . . . . .

. . . .

Je fis ma dernière observation à 8838 mètres[2]. [C'est à 2 mètres près la hauteur du pic le plus élevé de la surface de la terre, le Gaourichnaka du Népaul, au pied duquel viennent mourir les pèlerins brahminiques qui cherchent le Nirvana; on peut dire que jamais être humain ne pourrait se traîner à cette hauteur en suivant les aspérités de l'enveloppe terrestre, et malgré leur courage les frères Schlagintweit n'ont pas eu la prétention de s'y élever. Cependant j'aurais pu y continuer mes observations, si le mouvement ascendant du ballon ne m'eût entraîné plus haut, là où la vie est encore plus difficile[3].] Quand je m'évanouis, nous faisions notre ascension avec une vitesse énorme de 305 mètres par minute, et quand je repris mes observations, nous étions en descente avec une vitesse de 610 mètres, double de notre vitesse d'ascension; cette circonstance me permit de calculer avec une certaine exactitude la hauteur à laquelle nous avions réellement pénétré. (*Voyages aériens*, p. 65.)

Des calculs basés à la fois sur la vitesse ascensionnelle du ballon et sur la température marquée par un thermomètre à *minima*, ont conduit M. Glaisher à estimer que le ballon avait atteint la hauteur de 11000 mètres environ. Les résultats de ce calcul sont, il faut le dire, évidemment erronés. On est étonné de voir un savant de cette valeur supposer que le ballon avait en montant et en descendant une vitesse uniforme, et résoudre ainsi par des équations du premier degré un problème qui dépend évidemment du second.

Tout porte à croire que le ballon s'est bientôt arrêté et a plané quelques minutes avant que de descendre.

[1] La possibilité d'ouvrir ainsi une soupape de ballon, même pour un homme en pleine possession de ses forces, a été absolument niée par un aéronaute de profession, M. Duté-Poitevin (l'*Aéronaute* d'avril 1876, p. 105). Il est bon de faire remarquer que M. Glaisher n'a jamais considéré M. Coxwell comme un collaborateur scientifique.

[2] Dans le diagramme qui accompagne ce récit, diagramme dont j'ai eu en main l'original dessiné par M. Glaisher lui-même, la dernière observation certaine de hauteur est à 8100^m environ; la température était de — 20°,6.

[3] Les passages entre crochets [ ] n'existent pas dans le texte anglais. Auraient-ils été ajoutés par un traducteur fantaisiste? *Traduttore, traditore.*

Il me reste à mentionner une petite expérience qui n'est pas sans intérêt :

Nous avions emporté avec nous six pigeons pour les lancer successivement dans l'air quand nous nous serions élevés à des hauteurs assez grandes. Nous jetâmes le premier à 4807 mètres : il étendit ses ailes, mais ne put se soutenir et tomba comme une feuille de papier.

Le second, qui fut jeté à 6437 mètres, ne se laissa point entraîner si facilement; il tourbillonna en volant avec vigueur. Probablement il tournait sur lui-même chaque fois qu'il plongeait malgré lui. Peut-être en se livrant à cette valse étrange trouvait-il le moyen de résister à l'effrayante aspiration.

Le troisième fut jeté avant d'arriver au niveau de 8048 mètres. Il tomba comme une pierre et disparut rapidement. Nous gardâmes les trois pigeons qui nous restaient pour la descente, mais nous trouvâmes qu'un d'eux était mort dans sa cage, et qu'un autre ne valait guère mieux. Quand je le tirai de sa cage, il refusa de s'envoler. Ce n'est qu'après un quart d'heure de repos qu'il commença à donner des coups de bec sur un morceau de ruban rose qu'il portait autour du cou. C'était un pigeon voyageur qui, une fois remis, vola avec grande rapidité dans la direction de Wolverhampton. (P. 67.). . . . .

De tous les pigeons lancés pendant le voyage, un seul revint à Wolverhampton dans le courant de la journée du dimanche (le 5 septembre était un vendredi).

M. Glaisher fit encore plusieurs ascensions dans lesquelles il dépassa 7000^{m} (10 avril 1863, à 7300^{m} [1]; 26 juin 1863, 7100^{m}); dans ses récits il ne parle nullement des troubles physiologiques.

Mais il résume, dans un paragraphe spécial, les observations de cet ordre qu'il a pu faire dans ces diverses courses; je le prends dans l'édition anglaise où il est beaucoup plus complet et plus intéressant que dans les *Voyages aériens* :

Le nombre des pulsations par minute augmente avec l'altitude, ainsi que le nombre des inspirations : le nombre de mes pulsations était généralement de 76 avant de partir, à peu près de 90 à 10000 pieds, de 100 à 20000 pieds, et de 110 à de plus grandes hauteurs ; mais l'augmentation de la hauteur n'est pas le seul élément duquel dépend le nombre des pulsations; l'état de santé y est pour beaucoup, ainsi que le tempérament des diverses personnes.

Il en est de même pour la coloration de la face ; à 10,000 pieds, certaines personnes sont d'un rouge violacé flamboyant, tandis que d'autres sont à peine affectées. A 17000 pieds, mes lèvres étaient bleues; à 19000 pieds, mes mains et mes lèvres étaient d'un bleu foncé; à 4 milles de hauteur, on entendait les battements de mon cœur, ma respiration était très-affectée ; à 29000 pieds je devins insensible. De toutes les observations on peut conclure que les effets des grandes hauteurs se font sentir sur tout le monde, mais diffèrent chez le même individu suivant les circonstances. (P. 92.)

M. Glaisher affirme qu'on s'accoutume assez vite à l'influence de l'air raréfié, et il invoque à ce propos son expérience personnelle.

[1] C'est le chiffre de l'édition et du diagramme anglais. Les *Voyages aériens* donnent 7800^{m}.

Il témoigne à ce propos d'espérances qui indiquent à la fois une vive imagination et un grand sens scientifique :

La diminution de la pression..... doit agir d'une façon toute particulière sur les personnes qui voyagent dans l'air pour la première fois. Je peux affirmer ce fait par suite de mon expérience personnelle, qui a certainement quelque valeur, car je n'ai pas toujours été capable de m'élever sans inconvénient à une hauteur qui produit ordinairement un grand malaise, qui amène le plus souvent la décoloration des mains et de la face. Je me rappelle avoir plongé dans la plus vive surprise une assemblée de savants en affirmant que je m'étais habitué à pénétrer dans des régions très-élevées sans *tourner au bleu*. Je suis réellement persuadé que je me suis acclimaté aux effets de l'air raréfié qui se trouve à six kilomètres de la surface de la terre, et je me flatte de pouvoir respirer librement dans ces couches éloignées des rivages océaniques. Je n'ai même aucun doute que cette *acclimatation* ne puisse se développer assez pour exercer une influence notable sur l'usage scientifique des ballons. A huit ou dix kilomètres j'ai expérimenté sur moi et sur M. Coxwell les limites de notre faculté de vivre dans un air raréfié. Des expériences fréquentes augmenteraient cette hauteur, et je suis certain qu'on pourrait la prolonger encore si l'on venait en aide à la respiration par des moyens artificiels. Certainement les poitrines humaines doivent trouver là-haut leurs colonnes d'Hercule, mais je n'hésite pas à déclarer que ces frontières infranchissables sont encore très-éloignées de celles que j'ai atteintes. (*Voyages aériens*, p. 9.)

Le savant météorologiste de Greenwich revient encore, dans un autre passage de son travail, sur l'avenir qu'il prédit aux ascensions à grande hauteur; il exprime avec une singulière force sa confiance illimitée dans les efforts fructueux de la science. Nous montrerons dans la suite de cet ouvrage que ces espérances n'ont point été déçues :

Comme je l'ai déjà expliqué dans l'introduction, je ne doute pas qu'on ne parvienne à faire des observations dans ces régions où je n'ai pu arriver sans m'évanouir. Je suis persuadé qu'un jour viendra où des aéronautes me dépasseront, de la même manière que j'ai excédé la hauteur de Barral et Bixio, qui avaient à leur tour atteint des altitudes plus élevées que Sakaroff et Gay-Lussac. Ce n'est pas moi qui me chargerai de déterminer les limites de l'activité humaine, et d'indiquer le point, s'il existe, où la nature dit aux aéronautes : « Vous n'irez pas plus loin. » (*Ibid.*, p. 67.)

Pendant une dizaine d'années, il ne se fit plus d'ascension à grande hauteur, et, dans les ascensions scientifiques à médiocre hauteur, les aéronautes, préoccupés d'importants problèmes de météorologie et de physique, négligèrent tout à fait les phénomènes physiologiques dont les modifications, fort légères, n'auraient pu être constatées qu'en fixant sur elles une observation très-attentive.

Il faut arriver aux ascensions organisées par la Société de navigation aérienne pour trouver des faits qui puissent nous intéresser. La première d'entre elles, bien qu'elle n'ait pas dépassé 4600^{m}, a

fourni à M. le docteur Pétard, l'un des voyageurs, des constatations physiologiques fort intéressantes. Il commence par indiquer sommairement le tempérament de ses compagnons de route :

M. Crocé-Spinelli est blond, d'un tempérament lymphatique, nerveux, il est ordinairement disposé aux bronchites.

M. Pénaud est châtain, d'un tempérament lymphatique, et il est disposé au rhumatisme.

M. Jobert est très-brun, d'une constitution athlétique à disposition bilioso-sanguine.

M. Sivel est brun, d'un tempérament sanguin ; il est très-vigoureux et, de plus, peu sensible aux influences aéronautiques, par suite du grand nombre d'ascensions qu'il a faites.

Enfin, je suis brun et d'un tempérament sanguin. (P. 118.)

Le ballon s'éleva à une hauteur de 4600^{m} (429 millim.), où les aéronautes trouvèrent une température de — 7° après avoir passé par une couche à — 20° :

J'ai pu, dit M. Pétard, observer la sensation optique de cuvette, et cette illusion, qui fait que les collines paraissent fort peu saillantes, et les ravins peu profonds.

Le second phénomène que j'ai eu à observer est l'oppression qui s'est manifestée chez M. Crocé-Spinelli, à environ 3500 mètres. Je rappellerai que M. Crocé-Spinelli est prédisposé aux bronchites. M. Pénaud a éprouvé aussi de l'oppression, mais à un degré bien moindre que M. Crocé-Spinelli. Les autres passagers n'en ont pas ressenti.

Nous observâmes ensuite des bourdonnements dans les oreilles qu'accusa le premier M. Pénaud à une altitude d'environ 2700 mètres.

Nous avons tous été, à peu près en même temps, affectés de la même manière, mais avec des différences très-marquées dans l'intensité de l'impression. Elle a passé, pour M. Crocé-Spinelli, à l'état d'une douleur vive, et tellement persistante que dans le chemin de fer, pendant notre retour, il se plaignait encore de douleurs dans les oreilles.

M. Crocé-Spinelli dit que, chez lui, les bourdonnements et plus tard l'exacerbation de la douleur, ne se sont produits que dans les descentes rapides, c'est-à-dire quand la pression extérieure surpassait celle de l'oreille. Chez moi, ces bourdonnements se sont fait sentir chaque fois que nous avons eu une ascension ou une descente rapides de quelque étendue, c'est-à-dire chaque fois que l'équilibre, entre la pression interne et la pression externe dans l'oreille, a été rompu..... Les sons semblaient non-seulement affaiblis, mais paraissaient venir de loin. (P. 119.)

Les observations suivantes ont été faites au-dessus de 4000^{m} :

J'ai, à l'aide du thermomètre buccal de M. Sainte-Claire Deville et de celui de Celsius, constaté un léger abaissement dans la température animale, laquelle a

Observations physiologiques faites à bord de l'aérostat l'Étoile polaire, *le* 26 *avril* 1873. — L'*Aéronaute*, nº de juin 1873.

varié, dans les expériences faites, de 35° 02 à 35° 07. L'accélération du rhythme respiratoire et celle de la circulation artérielle, très-sensible chez tous, étaient dans des rapports très-variés chez les différents sujets. M. Jobert, qui n'a normalement que 10 inspirations par minute, en a eu jusqu'à 20; son pouls, normal à 100, n'a atteint qu'un maximum de 130. — Celui de M. Pénaud a monté de 68 à 104, la respiration de 25 à 45. — M. Crocé-Spinelli : pouls normal, 72 ; pouls maximum, 116, à une altitude de 3500 mètres. A 500 mètres il n'était plus que 86. Le nombre d'inspirations a passé de 40 à 64. — M. Sivel : pouls normal. 80 ; maximum, 108 ; la respiration a passé de 25 à 40. — Docteur Pétard : pouls normal, 87; maximum, 110; respiration normale, 26 ; maximum 35.

Il résulte de ces faits que l'augmentation dans les inspirations a atteint en moyenne les 8/5 de la valeur normale, mais que l'augmentation dans le nombre des pulsations a varié suivant les tempéraments. Pendant que cette augmentation était de 7 à 11 pour les tempéraments lymphatiques, elle était de 10 à 13 pour les tempéraments sanguins.

Je n'ai pu constater, par le pneumo-dynamomètre, de différence bien appréciable dans l'ampliation des poumons.

Le pouls était généralement plein et régulier ; mais il n'a pas été possible d'en prendre de dessins graphiques, ne pouvant faire usage des sphygmographes à cause de l'abaissement de la température qui rendait douloureuse l'exposition de la peau à l'air. (P. 120.). . . . .

Nous éprouvions un sentiment de bien-être particulier impossible à décrire, quoique accusé par les paroles et les allures.

Les deux célèbres ascensions à grande hauteur (7300^m et 8600^m) exécutées par mes collègues tant regrettés Crocé-Spinelli et Sivel, ayant été entreprises après la publication première des résultats de mes recherches, leur récit trouvera naturellement place dans la troisième partie de ce livre.

Je ne trouve plus à citer, en terminant, qu'un récit dû à un aéronaute anglais, Simons, qui, le 9 juillet 1874, partit de Cremorne-Garden, à Londres, emportant, suspendu sous sa nacelle, Groof, l'*Homme volant*, avec son appareil compliqué.

Le ballon contenait 27000 pieds cubes; à 1000 pieds, Groof se détacha, et, tombant la tête la première, se brisa sur le sol. Groof et sa machine pesaient 130 kil. :

Je regardai par-dessus la nacelle, dit Simons, mais je m'élevais avec tant de rapidité que je perdis connaissance jusqu'à mon arrivée au-dessus de Victoria-Park[1].

Mais je me hâte d'ajouter qu'il ne faut pas avoir une trop grande confiance dans les ascensions de Simons, qui s'est très-certainement écarté de la vérité dans ses réponses pendant l'enquête faite sur ce pénible événement.

[1] Journal l'*Aéronaute*, n° d'août 1874.

CHAPITRE III

EXPLICATIONS THÉORIQUES ET EXPÉRIENCES.

Nous allons, dans le présent chapitre, passer en revue les explications multiples qu'ont données les divers auteurs, voyageurs, médecins, physiologistes, des accidents dont nous avons, dans les chapitres précédents, reproduit les descriptions si variées. Nous y joindrons le récit des expériences peu nombreuses qui furent faites dans les laboratoires pour éclairer ces problèmes obscurs. Il ne s'agit que d'une exposition de doctrines : les critiques viendront dans le chapitre suivant.

Nous suivrons ici l'ordre purement chronologique, les explications proposées devant tout naturellement se ressentir des théories physiologiques courantes.

Le premier voyageur qui ait décrit le mal des montagnes est, comme nous l'avons vu, le jésuite Acosta [1]; il n'a pas manqué d'en donner une explication que nous reproduisons intégralement, et qui est des plus remarquables par la sagacité, la sûreté des vues et la netteté de l'expression. D'une part, en effet, il indique la véritable cause, de l'autre il repousse par avance une hypothèse erronée :

Il n'y a point de doute, dit-il, que la cause de cette intempérature et si étrange altération est le vent, ou l'air qui y règne, parce que tout le remède et le meilleur qu'ils y trouvent est de se boucher tant qu'on peut le nez, les oreilles et la bouche et de se couvrir d'habits, spécialement l'estomac, d'autant que l'air est si subtil et pénétrant, qu'il va donner jusqu'aux entrailles. . . . .

[1] *Loc. cit.*, chap. IX, — Sevilla, 1590.

Par quoi je me persuade que l'élément de l'air est en ce lieu-là si subtil et si délicat, qu'il ne se proportionne point à la respiration humaine, laquelle le requiert plus gros et plus tempéré. . . . .

Les passages des montagnes Nevades et autres de l'Europe que i'ai veuës, combien que l'air y soit froid, néantmoins ce froid n'oste pas l'appétit de manger, au contraire il le provoque, ny ne cause point de vomissements en l'estomach..... Cil des Indes..... advient au même endroit que le soleil y est chaud, qui me fait croire que le mal qu'on en reçoit vient de la qualité de l'air que l'on y respire. (P. 87.)

Quand on songe que ces lignes ont été écrites à la fin du seizième siècle, trois cents ans avant Lavoisier et Priestley, par un homme dont l'étude des sciences chimiques et naturelles n'était point la spécialité, on est frappé d'admiration pour la haute sagacité du savant jésuite et la merveilleuse propriété des expressions qu'il emploie. Notons encore que la machine pneumatique n'était point inventée, que Torricelli n'était pas encore au monde, quand Acosta disait que « l'élément de l'air est en ce lieu-là si subtil et si délicat qu'il ne se proportionne point à la respiration humaine ».

Il est intéressant de rapprocher des explications d'Acosta ce que trente ans plus tard écrivait, sur le même sujet, dans son *Novum organum* (paru en 1620), le célèbre François Bacon[1]. Si je ne me fais illusion, la comparaison n'est pas à l'avantage du savant chancelier de Verulam :

Les rayons de soleil ne produisent pas de chaleur dans ce que l'on nomme la région moyenne de l'air ; ce que l'on explique assez bien dans les écoles, en disant que cette région n'est pas assez proche, ni du soleil dont les rayons émanent, ni de la terre qui les réfléchit. A l'appui de cette explication, on peut citer les sommets des montagnes (à moins que l'élévation n'en soit extrême) où séjournent les neiges perpétuelles. Quelques voyageurs, en effet, ont remarqué qu'il n'existe point de neige au sommet du pic de Ténériffe, ni sur les Andes du Pérou, tandis que les flancs de ces montagnes en sont couverts jusqu'à une certaine hauteur. On assure en outre qu'à ces hauteurs extrêmes l'air n'est nullement froid, mais seulement rare et âcre; c'est par là que sur les Andes il attaque et blesse les yeux et l'estomac qui ne peut garder la nourriture. Les anciens avaient remarqué déjà qu'au sommet de l'Olympe l'air était si rare qu'il fallait, pour y monter, emporter avec soi des éponges imbibées de vinaigre et d'eau, et les approcher souvent des narines et de la bouche, l'air, à cause de sa rareté, ne suffisant plus à la respiration. On ajoute que sur ce même sommet où ne tombait ni la pluie ni la neige, où le vent ne soufflait jamais, il régnait un tel calme que, les sacrificateurs traçant de leur doigt des caractères avec la cendre des victimes sur l'autel de Jupiter, ces empreintes demeuraient parfaitement intactes jusqu'à l'année suivante. Aujourd'hui encore les voyageurs qui montent au sommet du pic de Ténériffe font leur ascension de nuit et non de jour; aussitôt après le lever du soleil, leurs guides les engagent à descendre sans délai, à cause apparemment du danger qu'il y aurait à respirer un air si rare et si suffocant.

[1] *Novum organum*, liv. II, § 11. Traduction de Lorquet, p. 85.

Ce n'est en effet qu'un demi-siècle après Acosta, que Torricelli inventait le baromètre, et Otto de Guéricke la machine pneumatique. Désormais, les expériences de laboratoire pouvaient marcher simultanément avec les observations faites par les voyageurs. Mais, chose curieuse, pendant longtemps les physiciens cherchèrent exclusivement à étudier l'influence du vide, c'est-à-dire de la soustraction totale de l'air. Ils ne se demandèrent pas ce qui arriverait du séjour dans l'air simplement raréfié; pour eux, semble-t-il, il n'existe que deux circonstances : avoir de l'air ou en être privé. Et cependant, par une contradiction étrange, beaucoup d'entre eux, cherchant pourquoi meurent les animaux maintenus en vases clos, restent persuadés que c'est à cause de la « diminution du ressort de l'air ». Chose curieuse ! ils ne s'enquièrent pas expérimentalement de ce qu'il adviendrait d'animaux soumis d'emblée à une semblable diminution; après les fameuses expériences de Pascal sur le Puy-de-Dôme (22 septembre 1648), ils ne s'étonnent pas de voir continuer à vivre des animaux qui, sur les montagnes, sont soumis à une diminution de l'élasticité de l'air énormément supérieure à celle qui coïncide avec l'axphyxie en vases clos.

Quoi qu'il en soit, les membres de la fameuse Académie del Cimento [1] nous apprennent que :

> Dès le temps que Torricelli le premier a inventé l'expérience avec le mercure, il commença aussi à penser comment il enfermerait divers animaux dans le vuide, afin d'observer en eux le mouvement, le vol, la respiration et tous les autres phénomènes qui pourraient être observés. Mais, étant destitué pour cette sorte d'expérience des instruments nécessaires, il fit tout ce qu'il put. Car les petits et tendres animaux étaient opprimés par le mercure, à travers lequel ils étaient obligés de monter vers le haut, lorsqu'on renversait ensuite le vaisseau, et qu'on le plongeait dans d'autre mercure. De là il y arrivaient, ou morts, ou à l'agonie, de sorte qu'on ne pouvait bien discerner s'ils recevaient plus de dommage, ou du mercure qui les suffoquait, ou de la privation de l'air. (P. 46.)

Quant à eux, ils racontent, dans leurs mémoires pour l'année 1667, les nombreuses expériences qu'ils firent sur des animaux en employant des tubes barométriques dont la vaste chambre était fermée par une vessie.

Ces animaux étaient des sangsues, des limaçons, des insectes de divers ordres, des reptiles, des oiseaux. Les expériences mention-

[1] *Relation de divers phénomènes arrivés dans le vuide, à des animaux qu'on y avoit enfermés.* — *Collect. acad*, partie étrang., t. I, p. 46-61.

nent avec une remarquable exactitude les divers symptômes que présentent ces animaux soumis instantanément à un vide presque parfait. Les physiciens de Florence remarquèrent en outre que chez les poissons placés dans le vide, la « vessie d'air » se désenfle et que les poissons restent ensuite au fond de l'eau : de là, de curieuses expériences, grâce auxquelles ils découvrirent le « petit soupirail » par où sort l'air quand il est dilaté par l'effet de la diminution de pression.

On ne trouve dans ce récit aucune indication théorique, bien nette, sur l'action du vide. Il en ressort cependant que, pour les académiciens del Cimento, le vide agit simplement par la soustraction de l'air. Au reste, leur traducteur et commentateur van Musschenbroeck s'en explique d'une manière fort claire lorsqu'il dit :

Si nous voulons sçavoir exactement combien de temps un petit oiseau peut seulement manquer d'air, qu'on le plonge sous l'eau ; car alors il ne peut point respirer l'air, et il est aussitôt comme dans le vuide.

Ces notes de van Musschenbroeck [1] contiennent encore une très-curieuse description des phénomènes présentés par un animal soumis à l'action du vide, avec une interprétation des causes de la mort, interprétation extrêmement remarquable, bien qu'elle se ressente des idées fausses de l'époque sur la circulation pulmonaire :

On renferma dans un récipient de verre un lapin, et par le moyen de la machine pneumatique on tira tout l'air ; l'animal commença d'abord par être inquiet, à chercher l'air, à s'enfler de toutes parts : ses yeux lui sortaient hors de la tête, son ventre se lâcha, il chercha une issuë par tout le vaisseau, se dressa en respirant à peine, s'affaiblit et tomba en convulsions, se coucha sur le côté, et enfin il mourut ; toutes ces choses arrivèrent dans une demi-minute, dès que l'on eut agité la pompe, qui tira promptement tout l'air du vaisseau : ayant rendu l'air, tout le corps de l'animal se désenfla ; ayant ouvert ensuite la poitrine, on trouva les poumons petits, flasques, solides, spécifiquement plus pesans que l'eau. Mais tout le corps de l'animal s'enfle dans le vuide, parce que le ventricule et les intestins renferment beaucoup d'air qui, n'étant plus comprimé par le poids extérieur de l'atmosphère, se dilate de toutes parts par son élasticité et enfle l'abdomen. Mais le sang et les autres humeurs ont entre leurs parties de l'air élastique entremêlé qui alors, n'étant point comprimé, se dilate, recouvre son élasticité et dilate tous les vaisseaux, d'où tout le corps de l'animal doit s'enfler de toutes parts, surtout les yeux, dont les humeurs renferment beaucoup de cet air ; c'est ce que l'expérience m'a appris, comme j'ai tâché de le prouver dans ma dissertation, *De aeris existentiâ in omnibus animalium humoribus*.

Outre cela, l'animal renfermé dans le vuide ne peut inspirer l'air dans ses pou-

[1] Je ne sais de quelle époque exacte elle sont. Musschenbroeck vécut de 1692 à 1761 ; le volume de la *Collection académique* où elles sont insérées parut en 1755.

mons, et quoiqu'il tâche de dilater sa poitrine, et qu'il répète souvent cette dilatation, néanmoins il n'y a rien qui entre de la partie extérieure des poumons dans les vaisseaux aériens ou les vésicules. C'est pourquoi la force contractile naturelle à toutes les fibres resserre les vésicules, les poumons décroissent, deviennent plus denses, et spécifiquement plus pesans que l'eau : mais tandis que les vésicules attachées aux extrémités de la trachée artère se resserrent, la circulation du sang est empêchée dans les artères et les veines qui environnent en abondance toute la surface vésiculaire, et dans celles qui sont placées dans les interstices laissés entre chaque vésicule. Mais dans cet animal adulte, le sang de tout le corps, chassé par le ventricule droit du cœur, doit passer par les vaisseaux des poumons dans l'oreillette et le ventricule gauches, afin qu'il puisse de là être chassé et envoyé dans les parties du corps. Les vésicules des poumons étant tombées et resserrées dans le vuide, les vaisseaux sanguins sont aussi comprimés, il ne passe rien du ventricule droit du cœur dans le gauche, le sang n'est pas envoyé au cerveau, au cervelet ou aux autres parties du corps, et c'en est fait de la circulation du sang en quoi consistoit la vie. Mais avant que la circulation du sang cessât entièrement dans les poumons, l'air qui est mêlé dans le sang se dégageoit des interstices, se rassembloit, se raréfioit, étoit poussé au cerveau, causoit çà et là des obstructions; de là la sécrétion mal ordonnée des esprits animaux dans le cerveau, et de là leur inégale influence dans les muscles du corps, qui étoit la cause des convulsions et retardoit la mort. Je ne doute point que tous les animaux dont le cœur a deux ventricules et n'est point percé d'un trou ovale ne mourussent dans le vuide avec les phénomènes que j'ai rapportés. . . . . .

Les animaux qui ont un trou ovale ouvert dans le cœur vivent longtemps dans le vuide, et ne meurent point pour d'autres causes que pour la soif, la faim, etc..... (P. 55.)

Ainsi, pour le célèbre professeur de Leyde, la mort des animaux soumis au vide arrivait par suite d'un arrêt dans la circulation du sang, arrêt dû à l'affaissement des poumons dont le vide a enlevé tout l'air; de plus, les gaz se séparant du sang obstruaient les vaisseaux, surtout dans le cerveau :

On dit, ajoute Mussenbroeck, que les oiseaux supportent plus facilement et sans incommodité un air rare, que les animaux terrestres, car ils ont coutume lorsqu'ils volent en haut de respirer un air plus rare : ils ne supportent cependant pas un air raréfié aux trois quarts; c'est pourquoi ils ne peuvent monter qu'à une certaine hauteur dans l'atmosphère, et non point à toutes sortes de hauteurs : ces animaux sont inquiets dans un air plus rare, parce que cet air peut à peine, par son élasticité, étendre les vésicules des poumons si la poitrine ne se dilate par une très-grande force; d'où vient cette inquiétude qu'ont ressentie les hommes qui sont montés sur le sommet des hautes montagnes d'Arménie, de Savoie, des Pyrénées, de Ténériffe, où l'air est beaucoup plus rare que celui qui est proche de la surface de la terre. (P. 57.)

En France, l'Académie des sciences pensa tout d'abord à faire des expériences avec « la machine de M. Guéricke de Magdebourg »; mais la seule dont ses Mémoires[1] nous aient apporté le récit a trait à

[1] *Expérience du Vuide.* — *Histoire de l'Acad. des sciences de Paris*, 1668; t. I, p. 45. — *Collect. acad.*, partie française, t. I, p. 23.

un goujon qui, après l'action du vide, tomba au fond de l'eau, « sa vessie s'étant vidée ».

Cependant, en Angleterre, un des physiciens expérimentateurs les plus remarquables du dix-septième siècle, Robert Boyle, avait entrepris sur la vie des animaux soumis au vide des recherches du plus haut intérêt. Il se servait de la machine pneumatique. Ses expériences, publiées en 1670 par les *Philosophical Transactions*, sont à coup sûr notablement antérieures à cette époque, puisque quelques-unes d'entre elles sont citées dans le mémoire plus haut cité des *Physiciens de Florence*, imprimé en 1667.

Ce travail considérable est divisé en plusieurs titres :

Dans le 1er, Boyle se demande si les oiseaux aquatiques, qui peuvent rester quelque temps plongés dans l'eau « par la structure particulière de quelques vaisseaux qu'ils ont autour du cœur », pourraient soutenir mieux que d'autres animaux la privation de l'air dans la machine pneumatique. Et, après expérience faite sur un canard, il répond négativement.

Dans le 2e et le 3e, Boyle rapporte les résultats d'expériences faites sur les serpents et les grenouilles, qui supportèrent longtemps le vide.

Dans le 4e titre, il dit qu'il expérimenta sur des chats nouveau-nés, et qu'il vit avec étonnement ces animaux résister trois fois plus longtemps que probablement n'auraient pu résister des animaux plus âgés et de même grosseur.

Titre V. — Expérience pour reconnaître le volume d'air contenu dans les pores de l'eau.

Titres VI et VII. — De l'action du vide sur des huîtres, des écrevisses et un goujon.

Titre VIII. — Expérience sur un oiseau et une grenouille renfermés dans la machine pneumatique, ayant tous deux l'abdomen ouvert.

Titre IX. — Expérience sur le cœur de l'anguille.

Titre X. — Comparaison du temps qu'il faut pour faire mourir les animaux dans l'eau et dans la machine pneumatique.

Dans le titre XI, Boyle rapporte les souffrances dont s'est plaint Acosta dans son passage du Pariacaca, et il déclare avoir entendu de semblables rapports de voyageurs ayant fait l'ascension du mont Ararat, du pic du Midi, du pic de Ténériffe et même des Cévennes.

[1] Boyle, R., *New Pneumatical experiments about Respiration. Philos. Transact.*, t. V, p. 2011-2058, 1670. — Extrait et traduit : *Collect. acad.*, partie étrangère. t. VI, p. 23-59; 1761.

Nous avons reproduit au chapitre Ier ces diverses observations. Il se demande à ce propos :

Si la difficulté de respirer qu'ont éprouvée quelques personnes sur les hauteurs du Pariacaca, et peut-être sur quelques autres montagnes fort élevées, vient uniquement du défaut de ressort de l'air dans ces endroits élevés ; si on ne doit pas l'attribuer, au moins en partie, à quelques vapeurs pénétrantes dont l'air peut se trouver chargé en certains endroits. (P. 42.)

Titre XII. — Effets produits sur un animal par la raréfaction et la condensation alternatives du même air.

Le titre XIII contient le récit d'une bien remarquable expérience, que devra reprendre Magnus, plus d'un siècle et demi après :

Le sang d'un agneau ou d'un mouton m'ayant été apporté tout chaud de la boucherie, où l'on avait eu soin de briser les fibres pour empêcher la coagulation, je mis ce sang dans un vaisseau de verre à large orifice, et le vaisseau fut placé dans un récipient ; on pompa l'air aussitôt et avec grand soin ; mais l'effet de cette opération ne fut pas si prompt ni si apparent, surtout au commencement, que j'aurais cru qu'il devait l'être sur une liqueur aussi spiritueuse; cependant, après une longue attente, nous vîmes que les parties les plus subtiles du sang se faisaient jour à travers les plus visqueuses, et formaient des bouillons dont quelques-uns étaient aussi larges que de grosses fèves ou des noix muscades ; quelquefois l'expansion était si forte, que le sang s'élevait en bouillonnant au-dessus du vaisseau de verre, dont cependant il n'occupait guère que le quart au commencement de l'expérience. (P. 46.)

Robert Boyle fit ainsi sortir de l'air d'autres liquides organiques et de toutes les parties molles. Et il explique avec une sagacité supérieure le but de ces expériences ; il voulait reconnaître

Ce qui, joint au défaut de respiration, pouvait contribuer à faire mourir les animaux dans le vuide de la machine pneumatique ; en effet, il paraît que les bulles qui, lorsque l'air ambiant est supprimé, se forment dans le sang, dans les autres liqueurs et dans les parties molles du corps, peuvent par leur multitude et leur distension gonfler en quelques endroits et en d'autres resserrer les vaisseaux qui portent dans tout le corps le sang et la nourriture, surtout les plus petits de ces vaisseaux, boucher les passages ou changer leur figure, enfin arrêter ou troubler la circulation en mille manières. Ajoutez à cela l'irritation causée dans les nerfs et les parties membraneuses par ces distensions forcées ; irritation qui produit les convulsions et occasionne une mort plus prompte que n'aurait fait la simple privation de l'air. Cette formation des bulles a lieu même dans les plus petites parties du corps, car j'ai vu une bulle très apparente se mouvoir de côté et d'autre dans l'humeur aqueuse de l'œil d'une vipère à l'instant où cet animal paraissait violemment tourmenté dans le récipient d'air épuisé. (P. 47.)

Dans le titre XIV est rapportée une très-belle expérience, par laquelle Boyle montre que les animaux s'habituent à l'action de la

raréfaction de l'air, et en souffrent moins dans les expériences successives.

Titre XV. — Expérience qui prouve que l'air peut conserver son ressort en cessant d'être propre à la respiration.

Titre XVI. — De l'usage de l'air pour faire sortir les exhalaisons du corps.

Titre XVII. — Force de la limace et de la sangsue pour supporter la privation de l'air.

Titre XVIII. — Essai du vuide sur quelques insectes rampants.

Titre XIX. — Des insectes ailés renfermés dans le vuide.

Titre XX. — Du besoin que les fourmis et les mites ont de l'air pour se mouvoir.

Dans un autre travail[1], le célèbre physicien insiste à nouveau sur l'expérience relative aux bulles d'air qui s'échappent des liquides organiques placés dans le vide, et il est amené à faire jouer au dégagement de ces bulles un rôle important dans les accidents dus à la diminution de pression :

Lorsque je me rappelle, dit-il, combien notre machine (la machine pneumatique) fait paraître d'air invisiblement retenu dans les pores non-seulement de l'eau, mais du sang, du sérum, de l'urine, de la bile et des autres liquides du corps humain; quand je réfléchis que (comme je l'ai démontré expérimentalement ailleurs) la pression de l'atmosphère et l'élasticité de l'air agissent sur les liquides et sur les corps immergés dans ces liquides, et aussi sur les corps solides immédiatement exposés à l'air, je penche à croire que les simples altérations de l'atmosphère au point de vue du poids peuvent, dans quelques cas, avoir une influence sensible même sur l'état de santé ou de maladie de l'homme. Lorsque l'air ambiant, par exemple, devient subitement plus léger qu'auparavant ou qu'habituellement, les particules spiritueuses ou aériennes, qui sont retenues en abondance dans la masse du sang, gonfleront naturellement ce liquide, pouvant ainsi distendre les gros vaisseaux, et changer notablement la rapidité de la circulation du sang dans les artères capillaires et les veines. Que par cette altération plusieurs changements puissent survenir dans le corps, cela ne semblera point improbable à ceux qui savent, en général, combien est important le rhythme de la circulation du sang, quoique, quant à ses effets particuliers, je les laisse à la spéculation des médecins.

Ces expériences furent répétées et variées de différentes manières par tous les physiciens de ce temps : Stairs, Derham, Huyghens, Papin, du Hamel, etc.

Je citerai un extrait du travail fait en commun par Huyghens et Papin; ce passage est remarquable par l'explication toute mécanique qu'on y trouve de la cause de la mort des animaux placés dans le vide de la machine pneumatique.

[1] *A new Experiment concerning an Effect of the varying Weight of the Atmosphère upon some Bodies in the Water.* — *Philosoph. Transact.*, VII, 1672; p. 5156.

Selon Huyghens et Papin[1], les animaux à sang chaud ne reviennent jamais quand il ont été mis dans un vide parfait. Ils ajoutent alors :

M. Guide, qui a souvent disséqué de ces animaux que nous faisions mourir dans le vuide, a observé entre autres choses que leurs poumons vont au fond de l'eau, et il prétend que la solidité ou la densité des poumons des animaux qui sont morts ainsi dans le vuide vient de ce que le sang, poussé dans les poumons par la veine artérielle, presse avec tant de violence les bronches de la trachée artère, qu'il en exprime l'air et qu'il fait joindre les parois de ces conduits affaissés, comme si elles étaient collées ensemble ; mais, pour moi, je ne crois pas que le sang de la veine artérielle puisse comprimer ainsi les bronches, parce que le sang a ses vaisseaux propres qui le contiennent et l'empêchent d'en comprimer d'autres. .

Il est donc plus probable que si les poumons sont comprimés ils le sont par la plèvre qui peut se gonfler au dedans de la poitrine comme la peau se gonfle à l'extérieur ; mais il n'est pas nécessaire que les poumons soient comprimés dans le vuide pour qu'ils puissent aller au fond de l'eau ; car j'ai plusieurs fois mis dans le vuide des morceaux de poumons et des poumons entiers, et ils y restaient extrêmement gonflés ; mais dès qu'on faisait entrer de l'air dans le récipient ils devenaient plats et rouges et ils allaient au fond lorsqu'on les mettait dans l'eau. (P. 150.)

Enfin, avant de quitter cette époque féconde, je crois devoir reproduire un fort curieux plan d'expériences suggéré au physicien anglais Beale[2], par son célèbre compatriote Boyle :

Il serait, je pense, très-important de voir les effets produits sur les plantes placées dans la machine à raréfier l'air de M. Boyle, et ainsi que sur les fleurs des cerisiers, etc.

L'illustre M. Boyle me suggère, pour la saison qui approche, d'essayer :

1° Si les graines germent dans le récipient privé d'air ;

2° Si l'enlèvement de l'air sera nuisible aux sensitives ;

3° Si la greffe de poirier sur la spina cervina (le seul végétal purgatif connu en Angleterre) communiquera aux poires des qualités purgatives.

4° Si les œufs de ver-à-soie écloront dans le récipient quand la saison sera venue.

Il faudrait rechercher en outre si les plantes aquatiques vivent dans l'eau dont on aura enlevé l'air par la pompe. . . . .

Une de ces expériences a été faite sur des graines de laitue. Celles qui avaient été semées à l'air libre mesurèrent 1 pouce 1/2 de haut après huit jours, les autres n'avaient pas poussé ; mais elles germèrent quand on laissa rentrer l'air.

Nous n'insisterons pas davantage sur ces tentatives qui, ainsi que nous l'avons fait observer, ont rapport presque exclusivement à

[1] Huyghens et Papin, *Some experiments touching Animals, made in Air-Pump.* — *Philosoph. transact.*, X, p. 542-543. — Extrait et trad. *Collect. acad.*, partie étrangère, t. VI, p. 143-155.

[2] *To try the Effects of the Pneumatick Engine exhausted in Plants, Seeds, Eggs of Silkworms.* — *Philosoph. Transact.*, vol. II, p. 424-425; 1667.

l'influence du vide à peu près complet. Sauf quelques expériences de Boyle et de Muschenbroek, il n'y est pas question, en effet, de l'air simplement raréfié.

Cependant, on l'a vu, ces physiciens se sont efforcés de trouver dans ces expériences des explications pour les troubles physiologiques éprouvés par les voyageurs qui font l'ascension de hautes montagnes. Cette préoccupation se manifeste encore dans un curieux passage de l'*Histoire de l'Académie des sciences* pour 1705[1]; il montre en même temps combien d'incertitudes assiégeaient alors l'esprit des physiciens eux-mêmes, sur la question de la mesure des hauteurs par le baromètre :

Il y a quelque apparence que l'air dilaté dans un tuyau n'est pas tout à fait de la même nature que l'air du haut d'une montagne. Si l'on met de l'eau tiède dans la machine du vuide, elle bout très-fort dès qu'on a pompé la moitié de l'air, parce que celui qui étoit naturellement mêlé dans cette eau, et qu'on avoit déjà un peu échauffé, étant soulagé de la moitié du poids qui le pressoit, tend à se dégager entièrement. De là M. Mariotte avait conjecturé que si l'on étoit à une hauteur où le poids de l'atmosphère fût diminué de moitié, le sang, beaucoup plus chaud que l'eau tiède et toujours plein d'air, bouillonneroit, de manière qu'il ne pourroit plus circuler, et il faut convenir que la conjecture étoit assez bien fondée. Cependant MM. Cassini et Maraldi, qui ont monté à des hauteurs où, selon leur calcul, le poids de l'atmosphère étoit à peu près de la moitié moindre, n'ont senti aucune incommodité causée par la raréfaction de l'air. Beaucoup de gens qui ont été encore plus haut ne s'en sont pas aperçus davantage.

Je n'ai pas besoin d'insister pour faire remarquer l'erreur dans laquelle se trouve l'écrivain relativement à la hauteur des montagnes où sont montés Cassini et Maraldi. Quelques lignes plus haut, il disait lui-même que « le baromètre baisse à peine de 5 ou 6 pouces sur les plus hautes montagnes où l'on ait observé ».

Plus tard, les physiciens italiens reprirent l'étude de ces importants problèmes. Veratti, académicien de Bologne, fit à ce sujet de nombreuses expériences[2]. Il commence par rappeler que deux explications fort différentes ont été données de la mort des animaux dans le vide :

Selon l'ingénieux Borelli, cette mort arrive parce que, l'air extérieur étant enlevé, l'air contenu dans le sang et dans les humeurs se raréfie excessivement et distend les vaisseaux au-delà de ce que l'animal peut supporter. D'après cette idée

[1] *Sur la raréfaction et la condensation de l'air.* — *Hist. de l'Acad. des sc. de Paris*, année 1705, p. 15; et *Collect. acad.*, partie française, t. II, p. 181.

[2] *Sur la mort des animaux dans le vuide*, Acad. des sc. de Bologne. — *Coll. acad.*, partie étrangère, t. X, p. 53; 1775.

il faut conclure qu'il s'excite dans le sang et les autres liqueurs une espèce d'effervescence qui les raréfie et retarde leur mouvement, que les nerfs en sont comprimés et le cours des esprits animaux intercepté, ce qui entraîne nécessairement la mort de l'animal. . . . .

M. Muschenbroek...., place la cause de ce phénomène dans le poumon. Il pense que les vésicules pulmonaires, ne recevant plus d'air extérieur, se contractent plus que de raison... ce qui fait que les vaisseaux sont rétrécis, que le sang s'y arrête... (Voir du reste plus haut l'opinion de Muschenbroek et celle de Guideus.)

Veratti, ayant mis dans le vide des cailles, vit que leur poumon surnageait après la mort. Le poumon de rats et de lapins surnagea aussi, mais non celui de jeunes chats âgés de huit jours. Il en conclut :

Que Muschenbroek et Guideus ou bien avaient mis en expérience des animaux nouveau-nés, dans lesquels le trou ovale n'était point encore fermé, et dont les poumons n'avaient pu se dilater suffisamment pour devenir spécifiquement plus légers que l'eau;.... ou bien qu'ils ont laissé les animaux trop longtemps dans le vuide après leur mort;.... ou encore que l'air du récipient était peut-être plus raréfié dans les expériences de ces physiciens..... qui n'ont pas eu soin d'avertir jusqu'à quel point ils ont pompé l'air..... Quant à lui, il s'est contenté de le raréfier autant qu'il était nécessaire pour donner la mort aux animaux. . . . .

Les poumons, dit-il en terminant, ne sont plus pesants que l'eau que dans le cas où ils ont été gardés quelque temps dans le vuide après la mort de l'animal. Cela prouve bien que cette mort ne doit point être attribuée au resserrement du poumon..... Peut-être même que les poumons ne deviennent pas plus denses dans le vuide, et qu'ils ne paraissent tels, lorsqu'on les en retire, que par la pression de l'air extérieur qu'ils recommencent d'éprouver alors. D'ailleurs, toutes les autres parties du corps se gonflant dans le vuide, on ne voit pas pourquoi le poumon serait excepté lui seul.

On voit que Veratti n'est rien moins qu'édifié sur le résultat des expériences des physiciens hollandais. Du reste, il ne prend point un parti décidé, bien qu'il soit amené à pencher vers l'opinion de Borelli.

Dans un autre mémoire[1] qu'il consacre à l'étude de l'asphyxie en vases clos, il fait une observation, erronée du reste, qui montre combien ces questions lui paraissaient complexes :

Aucuns des animaux qui meurent dans les récipients (air confiné) n'ont de convulsions, comme il arrive toujours à ceux qui meurent sous le récipient de la machine pneumatique; ce qui prouve que la cause qui tue les animaux dans un air renfermé est fort différente de celle qui les fait mourir dans le vuide.

On est vraiment bien étonné de voir, après cela, que dans l'expli-

[1] *Sur la mort de quelques espèces d'oiseaux et de grenouilles dans un air renfermé*, Acad. des sc. de Bologne. — *Collect. acad.*, partie étrangère, t. X, p. 313-321.

cation de la mort des animaux renfermés il fasse jouer un rôle important à « la destruction du ressort de l'air, prouvée par ses expériences », c'est-à-dire à une diminution de pression de quelques millimètres de mercure.

Un autre Italien, J. Fr. Cigna[1], poursuivait peu après des recherches du même ordre sur la mort en vases clos. Mais, le premier, il eut l'idée d'étudier ce qui adviendrait à des animaux maintenus jusqu'à la mort dans des récipients fermés, en présence d'un air diversement raréfié.

Il se servait d'une bouteille contenant « environ 50 livres d'eau ». Il y mit un moineau, puis il pompa l'air en deux minutes jusqu'à une dépression de 16 pouces et 10 lignes :

L'animal vomit dès le commencement, il essuya quelques convulsions, ensuite il parut se trouver assez bien pendant quelques instants. Sa respiration était d'abord petite et fréquente ; elle le devint encore plus dans la suite ; bientôt elle fut fréquente et profonde, et enfin profonde et rare ; il survint alors des convulsions qui terminèrent sa vie. Le mercure s'était peu à peu élevé dans le siphon, de sorte qu'à la mort de l'animal sa hauteur était augmentée d'environ 4 1/2 lignes. A compter du moment que la communication du tube avec la pompe pneumatique avait été interrompue, le moineau avait vécu 55 minutes. . . . .

Après avoir lavé la bouteille, j'introduisis un autre moineau ; je pompai l'air, de façon cependant que le mercure ne s'élevait dans le syphon que de 13 pouces 5 lignes, et j'ôtai la communication de la bouteille avec la pompe. Toutes ces opérations furent faites, comme la première fois, dans l'espace de deux minutes depuis l'intromission du moineau. Cet animal essuya les mêmes symptômes que le premier. Il vécut 70 minutes ; à sa mort, le mercure était élevé de sept lignes au-dessus du point où il était au commencement.

Enfin j'introduisis un troisième moineau dans la bouteille, sans en avoir raréfié l'air (la hauteur du mercure étoit alors de 27 pouces 6 lignes). Les symptômes furent les mêmes à l'exception des convulsions. L'animal vécut trois heures et demie. A sa mort, le mercure était monté dans le siphon d'environ 1 pouce et 1 1/2 ligne.

Dans ces expériences, les quantités d'air enfermé étaient entre elles comme les nombres 128, 169, 330 et, par conséquent, à peu près comme 3, 4, 8. La durée de la vie des moineaux fut comme les nombres 35, 70, 210, et à peu près comme 1, 2, 6 ; d'où il suit premièrement que, dans des airs de différente densité, elle ne répond pas à la quantité d'air, mais qu'elle augmente en plus grande proportion que la quantité d'air, lorsque sa densité est plus grande, et, par conséquent, que la même quantité d'air soutient plus longtemps la vie des animaux lorsqu'elle est condensée que lorsqu'elle est raréfiée. (P. 165.)

Cigna tire de ces expériences la conclusion suivante :

Un air raréfié n'est pas nuisible à la vie des animaux par sa rareté même, mais

[1] *Sur la cause de l'extinction de la flamme et de la mort des animaux dans un air fermé.* Soc. roy. des sc. de Turin, t. II, années 1760-1761 ; p. 168. — *Collect. acad.*, partie étrangère, t. XIII, p. 158-184 ; 1779.

parce qu'il est plus tôt altéré que lorsqu'il est plus dense ; car dans un tel air, les animaux respirent d'abord sans peine ; leur respiration ne devient laborieuse que par degrés, et d'autant plus tard que le récipient a plus de capacité ; tout s'y passe, en un mot, comme dans un air qui a sa densité naturelle. Au lieu que si l'air était pernicieux par sa rareté même, il le serait également, quelle que fût la capacité du récipient. (P. 166.)

Et, pour le prouver, il fit une double expérience, dans laquelle deux moineaux étaient soumis à la même pression très-faible (de 9 et demi à 7 et demi pouces), l'un dans une bouteille fermée, l'autre dans un récipient où il renouvelait fréquemment l'air. Le premier mourut, tandis que le second était « plein de santé » après plus d'une demi-heure :

Il résulte de cette expérience, dit-il, qu'un air, extrêmement raréfié sous le récipient pneumatique, est propre à entretenir la respiration et la vie, pourvu qu'il soit renouvelé, et voilà pourquoi les animaux supportent beaucoup mieux la condensation d'un air renfermé qu'une raréfaction égale ; voilà encore pourquoi la flamme brûle et les animaux vivent sur les plus hautes montagnes, quoique l'air y soit extrêmement raréfié, tandis qu'ils meurent bientôt sous un récipient dont on a raréfié l'air au même degré (p. 167).

Mais j'appelle tout particulièrement l'attention sur la remarquable explication que donne Cigna de l'innocuité (certes bien exagérée par lui), de l'air raréfié et renouvelé :

Il est sensible qu'il suffit que l'air soit assez dense pour pouvoir dilater le poulmon par sa pression ; or, pour dilater le poulmon, il suffit que cette pression puisse soumettre la résistance qu'oppose la force contractile de ce viscère, car il n'y a aucun air thoracique qui augmente cette résistance, et cette pression excède à peine celle de deux pouces de mercure ; d'où il suit qu'un air, même extrêmement raréfié, exerce encore une pression suffisante pour le méchanisme de la respiration (p. 166).

Aussi arrive-t-il à cette opinion que « la suffocation des animaux maintenus dans des vaisseaux fermés est l'ouvrage des vapeurs ». Mais le suivre dans cette voie nous écarterait de notre sujet.

Nous allons revenir aux voyageurs qui ont fait l'ascension de montagnes élevées ; mais il convient de rapporter auparavant les expériences intéressantes du poëte-naturaliste Darwin[1] et les curieuses conséquences théoriques qu'il en tire : nous aurons à revenir plus tard sur ces explications.

L'auteur se demande s'il existe vraiment dans le sang des va-

[1] Darwin, *Experiments on Animal Fluids in the exhausted Receiver*. — *Philos. Trans.*, t. LXIV, p. 344-349, 1774.

peurs élastiques d'une nature quelconque, qui ont pu faire attribuer « les maladies lunaires et équinoxiales » aux variations de la pression atmosphérique :

Cette opinion, dit-il, semble démontrée par l'expérience suivante : Quatre onces de sang sont tirées de la veine du bras et introduites immédiatement dans le réservoir d'une pompe à air : l'air étant enlevé, le sang se met à mousser, à s'élever en bulles, jusqu'à occuper dix fois plus de volume.

Mais il y a là, dit Darwin, un raisonnement erroné. Si on isole entre deux ligatures, chez un animal qu'on vient de tuer, une certaine longueur d'un vaisseau plein de sang, et qu'on mette ce fragment dans un vase plein d'eau, sous le récipient de la pompe, il reste au fond de l'eau, lorsqu'on fait le vide, sans s'élever ni se gonfler, comme cela devrait avoir lieu s'il contenait réellement de l'air :

Ainsi, il se produit un grand changement dans le sang tiré de la veine, par l'introduction qui s'y fait de l'air atmosphérique..... Ainsi, ne voyons-nous pas que la ventouse appliquée sur le vivant amène de la mousse, comme il arrive dans le vide.

Il est donc probable que les animaux peuvent subir sans inconvénients de fortes variations de pression..... Quelques-unes des personnes qui ont fait l'ascension de hautes montagnes rapportent qu'elles ont craché du sang ; mais cela n'a jamais été remarqué chez les animaux placés dans la machine pneumatique, où la diminution de pression était supérieure à ce qui arrive dans les plus hautes montagnes. Ces crachements étaient donc des maladies accidentelles, ou étaient la conséquence du violent exercice de l'ascension.

Nous avons vu, citée plus haut par Veratti, l'explication qu'avait tout d'abord donnée Borelli des accidents de la dépression, accidents qu'il avait lui-même éprouvés en montant sur l'Etna; ils seraient le résultat d'une sorte « d'effervescence qui arriverait dans le sang et les autres liqueurs. » Mais Borelli ne persista pas longtemps dans cette opinion, et, préoccupé exclusivement de sa théorie de l'effort, il rétrécit singulièrement la question[1] :

Je m'aperçus ensuite que cette gêne n'était pas produite par la trop grande subtibilité de l'air, ni par quelque viciation de ses qualités, puisque, assis ou à cheval, respirant naturellement le même air, nous n'avions pas plus d'oppression que sur le bord de la mer. J'ai donné une solution de ce problème dans ma *Météorologie des incendies de l'Etna*[2]; mais, en y réfléchissant, je ne puis persévérer dans ce sentiment, et j'en viens à une opinion plus vraisemblable. (P. 242.)

[1] *De Motu Animalium, Pars altera.* — Rome, 1681.
[2] Je n'ai pu me procurer ce travail. Mais probablement cette solution est celle qu'a rappelée Veratti et dont nous venons de parler.

Borelli rappelle alors qu'il a montré pourquoi un travail fatigant amène nécessairement l'anhélation. Il va montrer maintenant comment la locomotion dans un air raréfié ne peut se faire sans grande fatigue, d'où la difficulté de respirer : (C'est sa proposition CXXIII.)

Un travail peut devenir fatigant pour deux raisons : d'abord, si la résistance augmente, ensuite si la puissance diminue. . . . .

L'air contenu dans la poitrine aide, comme je l'ai dit, l'effort des muscles, en comprimant par son élasticité les vaisseaux aériens et sanguins. Donc, quand l'air sera très-raréfié, bien qu'il soit comprimé par le thorax comme l'était l'air dense, il agit moins sur les vaisseaux, et par suite vient moins au secours des muscles..... Donc, dans un air rare, un même travail demandera plus d'efforts, la puissance étant diminuée, d'où vient la lassitude, ce qu'il fallait démontrer. (P. 243.)

Bouguer[1] ne montre pas plus de sagacité ; le fait bien reconnu que, dans certaines circonstances, les malaises frappent seulement les piétons et non les cavaliers, lui fait tout attribuer à la fatigue ; pour les cas plus embarrassants, il a recours au froid :

Ce qui le prouve d'une manière incontestable, c'est qu'on n'y était jamais exposé lorsqu'on allait à cheval ou lorsqu'on était une fois parvenu au sommet, où l'air cependant était encore plus subtil. Je ne nie pas que cette grande subtilité ne hâtât la lassitude et ne contribuât à faire augmenter l'épuisement, car la respiration y devient extrêmement pénible ; pour peu qu'on agisse, on se trouve tout hors d'haleine par le moindre mouvement ; mais ce n'est plus la même chose aussitôt qu'on reste dans l'inaction. . . . .

Nous passâmes trois semaines (août 1737) sur le sommet du Pichincha ; le froid y était si vif que quelqu'un d'entre nous commença à sentir quelques affections scorbutiques, et que les Indiens et les autres domestiques que nous avions pris dans le pays eurent des tranchées violentes : ils rendirent du sang, et il y en eut qui furent obligés de descendre ; mais leur indisposition ne venait toujours, lorsque nous fûmes une fois logés sur la pointe du rocher, que de la seule rigueur du froid auquel ils n'étaient pas accoutumés, sans que la dilatation de l'air parût en être la cause, au moins immédiate ou prochaine : c'est ce que j'examinai avec d'autant plus de soin que je savais que la plupart des voyageurs y avaient été trompés, faute de démêler assez les différents effets. (P. 262.)

Cependant, Bouguer accorde quelque importance à la diminution du poids même de l'air :

Les petites hémorrhagies venaient sans doute de ce que l'atmosphère, ayant un moindre poids, n'aidait pas assez par sa compression les vaisseaux à retenir le sang qui, de son côté, était toujours capable de la même action. (P. 261.)

Ulloa[2], qui avait vu dans d'autres régions de la Cordillère « les

[1] *Loc. cit. : Relation abrégée,* etc., 1744.
[2] *Loc. cit. : Mémoires philosophiques,* 1787.

gens de cheval aussi malades que ceux de pied, » ne pouvait supposer, comme l'avait fait Bouguer, que la fatigue était la cause principale des malaises. Aussi ne mentionne-t-il même pas cette hypothèse. Mais il discute victorieusement celle du froid.

L'idée de la rareté de l'air se présente à son esprit, mais une circonstance l'embarrasse, qui en a embarrassé bien d'autres, c'est qu'on n'éprouve pas ces accidents sur les hautes contrées voisines de Quito :

On ne peut sans doute attribuer cet accident au froid, car s'il en était la seule cause, cette maladie serait commune dans tous les pays froids. Il faut donc que cela vienne de la qualité de l'air, soit en conséquence de sa légèreté, soit de toute autre qualité que nous n'y connaissons pas. On n'éprouve point ce mal dans les hautes contrées de Quito, contrées aussi élevées que celles du Pérou, car il est différent de l'affection que nous appelons *paramarse* : au moins ne l'a-t-on pas éprouvé quand on a fait les observations, c'est pourquoi l'on n'en a pas parlé, au lieu qu'il est très-ordinaire dans les pays qui conduisent à ces autres contrées. Il faut encore observer que ceux qui sont disposés à vomir en mer le sont aussi aux Punas, tandis que ceux sur qui la mer ne fait pas d'impression n'éprouvent non plus cette incommodité sur ces cimes. On sent quelque chose d'analogue sur les hautes montagnes d'Europe et sur d'autres chaînes de montagnes; ceci est particulier aux personnes délicates, mais ces effets n'y sont pas si sensibles et si graves, ni même si généraux que dans les contrées de l'Amérique. Ce qu'on éprouve en Europe ne vient que de la rareté de l'air et du froid qu'il fait sur ces hauteurs, deux circonstances qui doivent produire quelque altération. (P. 117.)

Puis, à propos des accidents constatés chez les bêtes de somme, Ulloa rapporte, mais pour la combattre, l'opinion répandue de son temps, et encore aujourd'hui presque universellement admise dans les contrées de la Sud-Amérique, qu'il s'agit d'un empoisonnement par des émanations métalliques sortant du sol. Cependant, il ne peut s'empêcher de croire à quelque substance étrangère répandue dans l'air :

Les habitants de ces contrées disent que c'est parce que les animaux passent alors sur des mines, car ils prétendent que les montagnes sont pleines de minerais, d'où il s'exhale, par les pores de la terre, des molécules d'antimoine, de soufre, d'arsenic et autres, auxquelles ils attribuent ces accidents.

Mais on peut objecter que, si cette opinion était fondée, ceux qui montent ces animaux l'éprouveraient aussi lorsqu'ils sont arrêtés, ce qui n'arrive pas. Il faut donc croire que cela n'est dû qu'à l'extrême rareté de l'air, imprégné d'ailleurs de quelque corps étranger qui s'y trouve disséminé, et sans que cette matière étrangère sorte des pores de la terre. On peut encore dire qu'il n'est pas probable qu'il y ait des minéraux renfermés dans le sein de toutes les cimes où ces accidents arrivent, puisqu'on ne voit aucun signe externe qui les décèle : si cela était, il n'y aurait ni mont ni coteau dans ces chaînes, qui ont plusieurs centaines de lieues, où l'on ne trouvât quelque minéral. (P. 116.)

Ulloa dit aussi quelques mots d'accidents bien moins graves, mais que ses successeurs n'ont pas toujours eu, comme lui, la sagacité de distinguer d'avec le *mal des montagnes* :

L'air sec et subtil occasionne une telle sécheresse, que l'épiderme, et surtout la pellicule qui recouvre les lèvres, se gerce et se fend ; on y sent de la douleur, et bientôt le sang y paraît ; les mains deviennent rudes et squameuses : cette aspérité est surtout remarquable aux articulations des doigts et à leur partie supérieure, les écailles y sont plus épaisses qu'ailleurs, et elles prennent une couleur noirâtre qui ne se dissipe aucunement par les lotions. On appelle ces affections *chugno*, terme par lequel les naturels désignent une chose ridée et durcie par le froid. (P. 111.)

Tous ces faits étaient connus de l'illustre Haller, qui les rappelle brièvement dans le IIIe volume[1] de son immense ouvrage, et tente de les expliquer avec les données de la physique, de la chimie, de la physiologie de son temps. L'influence mécanique de la pression de l'air lui paraît tout à fait prédominante. Chemin faisant, il émet cette idée bien singulière, déjà indiquée par Cigna (voy. p. 216), que l'air des altitudes agirait sur l'organisme d'une manière moins fâcheuse que celui qui a été raréfié au même degré sous les cloches pneumatiques :

L'air, dit-il, pèse de toutes parts sur le corps de l'homme..... et les divers auteurs estiment ce poids à des valeurs variables de 31144 livres à 42340. Les enfants sont plus comprimés proportionnellement que les adultes, leur surface du corps diminuant moins que la masse.

Tout cela varie en un même lieu, puisque le mercure du baromètre monte ou descend de trois pouces environ, d'où des différences qu'on a estimées de 3062 à 3982 livres. La variation est bien plus grande si l'on compare l'air des plus hautes montagnes à celui des plus profondes mines de charbon..... Dans ce cas, elle peut aller de 36292 livres à 19281 (elle ne serait, suivant La Condamine, que de 17000 livres sur le haut du Chimborazo, sommet inaccessible du reste). Et cette différence apparaît bien autrement grande, si au lieu d'un homme on considère un poisson vivant dans des profondeurs sous-marines jusqu'à 400 toises..... On arriverait ainsi à une pression de 2272000 livres.

Les académiciens anglais n'ont pas mis en doute qu'un homme puisse vivre à 200 toises de profondeur. (P. 191.). . . . .

. . . .

Les effets de cette pression ne peuvent pas ne pas être considérables sur le corps humain : nous le voyons en plaçant des animaux sous la cloche pneumatique.

Le corps est soustrait à la pression qui serrait contre les os les vaisseaux, les muscles et les parties molles. Et comme il y a dans les humeurs du corps, dans les voies aériennes, partout, de l'air qui s'y trouve maintenu par la pression, sous un petit volume, lorsque cette pression est soustraite l'animal se gonfle de tous

[1] *Elementa Physiologiæ corporis humani*. Lausanne, 1761.

côtés, par l'expansion du poumon, de l'intestin et de l'air contenu dans les vaisseaux et même les mailles cellulaires. (P. 192.). . . . .

Mais il y a une grande différence entre l'air raréfié par des vapeurs ou par la soustraction d'une partie de lui-même, et celui qui est plus léger à cause de la hauteur et de son éloignement du centre de la terre. Dans celui-ci, en effet, bien qu'il soit diminué de moitié de son poids, la respiration se fait sans difficulté ; c'est ce que j'ai éprouvé sur les monts *Jugo* et *Furca*. (Haller cite Cassini, Bouguer, etc.)

Et l'on peut même vivre longtemps à ces hauteurs..... J'ajoute foi à l'opinion d'Arbuthnot qui enseigne que la migration rapide dans un air raréfié se supporte difficilement d'abord, mais qu'on le tolère par habitude. De là vient peut-être que les oiseaux supportent plus facilement l'air raréfié que les autres animaux (Derham). On comprend facilement, en effet, que les pressions dans nos humeurs et nos vaisseaux seront d'autant plus grandes que l'air extérieur sera plus dense, et d'autant moindre qu'il le sera moins. (P. 193.). . . . .

Nous comprenons facilement les inconvénients de l'air raréfié ; nous verrons qu'il ne peut dilater complétement les poumons. Comme la pression ne soutient plus les vaisseaux du corps, ils résistent moins au cœur et se rompent plus facilement. Dans un air très-raréfié, le péril est augmenté par l'expansion de l'air contenu dans nos humeurs. L'air léger, qui dilate mal les poumons, rend plus difficile le passage du sang dans ces organes, et, laissant moins arriver de sang au cœur gauche dans un temps donné, lui enlève le stimulant qui le sollicitait à se contracter. (P. 196.). . . . .

Dans l'air raréfié, les forces sont brisées. Dans nos Alpes, ceux qui sont faibles de poitrine meurent quand ils sont dans les endroits élevés, surtout s'il y fait chaud, car le froid tempère les mauvais effets de l'air rare. Les robustes montagnards des Alpes portent parmi les hauts lieux des fardeaux énormes.

Si en passant des montagnes certains voyageurs ont éprouvé de la fièvre, des faiblesses, de petites hémorrhagies, des hémoptysies, comme on en voit un fâcheux exemple dans Scheuchzer[1], je les rapporte plutôt à la fatigue de l'ascension et aux forces respiratoires tendues à l'excès. En effet, les voyageurs au repos ou à cheval n'éprouvent rien de semblable. (P. 197.)

Ainsi, suivant le célèbre physiologiste suisse, l'action de l'air raréfié a pour causes principales la diminution du poids qui pesait sur la surface du corps, la dilatation des vaisseaux sanguins superficiels et la circulation du sang rendue plus difficile à travers les poumons. Nous aurons à revenir, dans le prochain chapitre, sur la valeur de ces théories qu'il serait prématuré de discuter actuellement.

D'après le récit de Haller, on voit que les voyageurs dans les Alpes avaient déjà éprouvé quelques effets fâcheux de la diminution de pression barométrique. Cependant, aucun des géants des Alpes, ni le mont Blanc, ni le mont Rose, ni la Jungfrau, n'avait encore vu d'explorateurs fouler leurs sommets qui s'élèvent à plus de 4000^{m}. Or, au-dessous de ce niveau, les accidents, même légers, sont assez

[1] *De meteoris aqueis*, p. 40. Je n'ai pu me procurer cet ouvrage.

rares. Le physicien genevois de Luc[1] s'en étonne, en considérant la grande diminution du poids d'air supporté par le corps ; il en tire une conséquence fort raisonnable sur l'influence que certains médecins attribuent aux changements barométriques sur la santé :

Nous étions fort à notre aise auprès des petits rochers où nous étions descendus (glacier du Buet, baromètre 19 pouces 6 lignes ; 9355 pieds au-dessus du niveau de la mer)..... Nous nous émerveillions de n'apercevoir la différence de densité de l'air que par nos instruments ; de ce qu'aucune incommodité ou sensation désagréable ne nous avertissoit que cet air que nous respirions étoit près d'un tiers moins dense que celui de la plaine ; de ce que le poids de l'atmosphère avoit diminué de cent quintaux sur notre corps sans que l'équilibre fût troublé dans son intérieur. Quelle merveilleuse machine, que celle qui se prête à de si grandes variations dans les causes mêmes de ses principaux mouvements, sans qu'ils cessent d'être réguliers !

Je ne puis m'empêcher de faire remarquer, à ce sujet, combien se sont trompés quelques médecins qui ont attribué à la différence du poids ou de la densité de l'air les changements qu'éprouvent certaines personnes lorsque le baromètre baisse, et qui ont entrepris d'en rendre raison par le manque d'équilibre entre l'air intérieur et l'air extérieur, ou par l'effet que peut produire sur les mouvements du cœur et des poulmons un air plus ou moins dense.

Si ces vicissitudes influoient sensiblement sur nos organes, que deviendroient ces chasseurs au chamois, qui passent chaque jour du fond des vallées au sommet d'aussi hautes montagnes..... Les asthmatiques mêmes n'en sont pas affectés ; j'ai été du moins sur la montagne du Salève avec un de mes amis qui craignoit cet effet et qui ne l'éprouva point. (P. 328.)

Nous avons vu que le chanoine Bourrit fut, dans l'ascension du Buet, moins heureux que de Luc ; les récits de de Saussure et de Pictet montrent, du reste, que cette montagne, malgré sa médiocre hauteur, est une de celles où les ascensionnistes sont le plus facilement atteints. Bourrit[2] fait à ce propos une réflexion singulière sur la différence de densité, à hauteur égale, entre l'air des Alpes, qui rend malade, et celui des Cordillères, « où l'on n'éprouve rien » :

J'ai remarqué qu'on évite ces accidents en se promenant...., moyens qui renouvellent l'air dans les poumons et en entretiennent l'activité. . . . . .

Je sais qu'il serait difficile, pour ne pas dire impossible, de vivre longtemps sur le mont Blanc. . . . .

De toutes ces circonstances il faut conclure que l'air qu'on respire sur les hautes Alpes est bien plus rare que celui des Cordillères à la même hauteur, parce que ces dernières sont sous l'équateur, et que par là même elles sont plus imprégnées de vapeurs grossières et épaisses. (T. II, p. 98.)

Si cette idée nous paraît aujourd'hui très-singulière, que dire de

[1] *Recherches sur les modifications de l'atmosphère*, t. II. — Genève, 1772.
[2] *Loc. cit. : Nouvelle description*, etc., 1785.

celle de d'Arcet[1] qui nie d'abord les malaises des montagnes (il n'était monté qu'au pic du Midi) et en arrive à se demander si réellement l'air des régions élevées est plus dilaté que celui des plaines !

Quant à la difficulté de respirer qu'on a cru sentir quelquefois sur les hautes montagnes, et que nous n'avons jamais éprouvée, je crois qu'elle peut venir du resserrement qu'on sent lorsque, tout échauffé et fatigué de monter, on arrive sur un sommet très-découvert et fort élevé. Là, on est saisi tout à coup par un air froid et vif. . . . .

Quelque fatigué qu'on soit, lorsqu'on parvient sur une haute montagne, on s'y trouve promptement délassé; on s'y sent plus leste, plus léger; le visage est pâle et la chair moins colorée. En un mot, ce qu'on sent alors n'a rien de commun ou plutôt c'est le contraire des effets que produit sur les êtres vivants un air trop dilaté et trop rare. (P. 123.)

Il discute ensuite les observations de Bouguer et de La Condamine, et dit en terminant :

J'engage les physiciens qui seront à portée de tenter de nouvelles expériences, s'il est possible, pour s'assurer si en effet, à de certaines hauteurs, l'air y devient rare et s'y dilate au point que des animaux ne pourroient plus s'y élever sans y étouffer comme dans le vuide; si cette densité plus ou moins grande est ici-bas la seule cause de l'ascension et des variations du mercure dans le baromètre.

De Saussure[2], dès le premier volume de son grand ouvrage, après avoir raconté qu'il a souffert du mal des montagnes en faisant l'ascension du Buet, s'efforce d'en trouver la raison. Chose bien curieuse, il indique en passant, mais pour la combattre, l'explication véritable, que les découvertes récentes de Priestley et de Lavoisier lui permettaient déjà d'entrevoir :

§ 559. — On ne peut attribuer l'épuisement des forces musculaires à la seule fatigue, comme l'a cru M. Bouguer. Un homme fatigué, dans la plaine ou sur des montagnes peu élevées, l'est rarement assez pour ne pouvoir absolument plus aller en avant; au lieu que, sur une haute montagne, on l'est quelquefois à un tel point, que, fût-ce pour éviter le danger le plus imminent, on ne ferait pas à la lettre quatre pas de plus, et peut-être même pas un seul. Car si l'on persiste à faire des efforts, on est saisi par des palpitations et par des battements si rapides et si forts dans toutes les artères, que l'on tomberait en défaillance si on l'augmentait encore en continuant de monter.

Cependant, et ceci forme le second caractère de ce singulier genre de fatigue, les forces se réparent aussi promptement, et en apparence aussi complettement qu'elles ont été épuisées. La seule cessation de mouvement, même sans que l'on s'asseye, et dans le court espace de trois ou quatre minutes, semble restaurer si parfaitement les forces, qu'en se remettant en marche on est persuadé qu'on

[1] *Discours en forme de dissertation sur l'état actuel des montagnes des Pyrénées.* — Paris, 1776.

[2] *Voyage dans les Alpes.* — Genève, 4 vol. in-4°; 1786 à 1796.

montera tout d'une haleine jusques à la cime de la montagne. Or, dans la plaine, une fatigue aussi grande que celle dont nous venons de parler ne se dissipe point avec tant de facilité. . . . .

§ 560. — On serait tenté d'attribuer ces effets à la difficulté de respirer; il semble naturel de croire que cet air rare et léger ne dilate pas assez les poumons, et que les organes de la respiration se fatiguent par les efforts qu'ils font pour y suppléer, ou que le ministère de cette fonction vitale n'étant pas complétement rempli, le sang, suivant la doctrine de M. Priestley, n'étant pas suffisamment muni de son phlogistique, toute l'économie animale en est dérangée.

Mais ce qui me persuade que ce n'est point là la véritable raison de ces effets, c'est qu'on se sent fatigué, mais non point oppressé; et si l'action pénible de gravir une pente rapide rend la respiration plus courte et plus difficile, cette incommodité se fait sentir sur les basses montagnes comme sur les hautes, et ne produit pourtant point sur nous, quand nous gravissons ces basses montagnes, l'effet que nous éprouvons sur celles qui sont très-élevées; d'ailleurs sur celles-ci, quand on est tranquille, on respire avec la plus grande facilité. Enfin, et cette réflexion me paraît décisive, si c'était une respiration imparfaite qui produisait cet épuisement, comment quelques instants d'un repos pris en respirant ce même air paraîtraient-ils réparer si complétement les forces?

§ 561. — Je croirais plutôt que ces effets doivent être attribués au relâchement des vaisseaux produit par la diminution de la force comprimante de l'air.

L'habitude de vivre comprimés par le poids de l'atmosphère fait que nous ne pensons guère à l'action de ce poids et à son influence sur l'économie animale. Cependant si l'on réfléchit qu'au bord de la mer tous les points de la surface de notre corps sont chargés du poids d'une colonne de mercure de 28 pouces de hauteur; qu'un seul pouce de ce fluide exerce, sur une surface d'un pied quarré, une pression équivalente à 78 livres, 11 onces, 40 grains, poids de marc; que par conséquent 28 pouces exercent sur cette même surface la pression de 2203 livres, 6 onces; et qu'ainsi en attribuant, comme on le fait communément, 10 pieds quarrés de surface à un homme de moyenne taille, la masse totale du poids qui comprime le corps de cet homme, équivaut à 22033 livres, 12 onces; si, dis-je, on réfléchit à ce qui doit résulter de l'action de ce poids, on verra qu'il doit refouler toutes les parties de notre corps, qu'il les contrebande pour ainsi dire, qu'il comprime les vaisseaux, qu'il contribue à la force élastique des artères, qu'il condense les parois de ces mêmes vaisseaux, et s'oppose à la transsudation des parties les plus subtiles, du fluide nerveux par exemple; et que par toutes ces raisons il doit contribuer à la force musculaire.

Si donc du bord de la mer on se trouvait tout à coup transporté, seulement à la hauteur de 1250 toises, où le poids de l'air ne soulève qu'environ 21 pouces de mercure, l'action de l'atmosphère sur notre corps se trouverait diminuée d'un quart, ou de 5508 livres, 7 onces; par conséquent tous les effets de cette action seraient sensiblement diminués, et les forces musculaires devraient nécessairement en souffrir. Les vaisseaux, en particulier, exerceraient une pression beaucoup moins considérable sur les fluides qu'ils renferment; et par cela même ils opposeraient moins d'obstacles à l'accélération que le mouvement musculaire tend à donner à toute la masse de nos liquides.

Donc, dans les régions élevées, où les vaisseaux ne sont que faiblement contrebandés par la pression de l'atmosphère, les efforts que l'on fait en gravissant une pente rapide doivent accélérer le mouvement du sang, beaucoup plus que dans des régions basses, où la compression des vaisseaux résiste à cette accélération. De là, sans doute, ces battements rapides de toutes les artères, et ces palpitations qui

saisissent sur les hautes montagnes, et qui feraient tomber en défaillance si l'on persistait à se mouvoir avec trop de vitesse.

Mais aussi, par un effet de ce même relâchement des vaisseaux, comme ils réagissent faiblement sur le sang, dès que l'on discontinue le mouvement, l'accélération qui avait été produite par ce mouvement cesse d'elle-même en peu de temps, au lieu que si les vaisseaux étaient fortement tendus, leur élasticité aurait perpétué cette accélération, longtemps après que sa cause aurait cessé d'agir. C'est le propre des êtres faibles, ils s'émeuvent facilement et s'apaisent de même; au lieu que les êtres forts, difficiles à ébranler, se calment plus difficilement encore. Lors donc que les vaisseaux sont relâchés par la diminution de la pression de l'air, quelques instants de repos suffisent pour rétablir l'ordre et la tranquillité dans la circulation, pour donner par le ralentissement de cette même circulation, un sentiment de fraîcheur intérieure qui, aidé par la fraîcheur de l'air qu'on respire dans ces régions élevées, calme complétement, et persuade que la fatigue est entièrement dissipée. Quant à l'assoupissement, je crois qu'il est l'effet du relâchement vasculaire et surtout de celui du cerveau. Telle est du moins la raison de ces faits qui me paraît la plus probable : j'en laisse le jugement aux physiologistes de profession. (T. I, p. 482-488.)

Ainsi c'est, pour de Saussure, la diminution de la pression exercée par l'air sur les vaisseaux cutanés qui, diminuant leur résistance aux impulsions du cœur, détermine l'accélération circulatoire et amène à la suite tous les troubles qu'il a observés et soufferts. Mais, après sa célèbre ascension du mont Blanc, il ajoute à cette explication des réflexions d'une valeur bien plus en rapport avec la sagacité de son esprit élevé :

§ 1965. — Si l'on considère, dit-il, en effet, que le baromètre n'était là qu'à seize pouces et une ligne, et qu'ainsi l'air n'avait guère plus de la moitié de sa densité ordinaire, on comprendra qu'il fallait suppléer à la densité par la fréquence des inspirations. Or, cette fréquence accélérait le mouvement du sang, d'autant plus que les artères n'étaient plus contrebandées au dehors par une pression égale à celle qu'elles éprouvent à l'ordinaire; aussi avions-nous tous la fièvre. (T. IV, p. 147.)

Il revient un peu plus loin sur cette explication, et en poursuit les conséquences. Il réfute également la théorie de Bouguer :

§ 2021. — De tous nos organes, celui qui est le plus affecté par la rareté de l'air, c'est celui de la respiration. On sait que pour entretenir la vie, surtout celle des animaux à sang chaud, il faut qu'une quantité d'air déterminée traverse leurs poumons dans un temps donné. Si donc l'air qu'ils respirent est le double plus rare, il faudra que leurs inspirations soient le double plus fréquentes, afin que la rareté soit compensée par le volume. C'est cette accélération forcée de la respiration qui est cause de la fatigue et des angoisses que l'on éprouve à ces grandes hauteurs. Car, en même temps que la respiration s'accélère, la circulation s'accélère aussi. Je m'en étais souvent aperçu sur de hautes cimes, mais je voulais en faire une épreuve exacte sur le mont Blanc; et pour que l'action du mouvement du voyage ne pût pas se confondre avec celle de la rareté de l'air, je ne fis mon épreuve

qu'après que nous fûmes restés tranquilles ou à peu près tranquilles pendant quatre heures sur la cime de la montagne. Alors le pouls de Pierre Balmat se trouva battre 98 pulsations par minute : celui de Têtu, mon domestique, 112, et le mien 100. A Chamounix, également après le repos, les mêmes, dans le même ordre, battirent 49, 60, 72.

Nous étions donc tous là dans un état de fièvre qui explique et la soif qui nous tourmentait, et notre aversion pour le vin, pour les liqueurs fortes, et même pour toute espèce d'aliment. . . . .

Cependant lorsqu'on demeurait dans une tranquillité parfaite, on ne souffrait pas d'une manière sensible. Et c'est ce qui a fait penser à Bouguer que les symptômes qu'on éprouve dans cet air ne viennent que de la fatigue, car il est d'accord avec moi sur tous les faits. . . . .

Il me paraît évident que, dans l'explication de ces faits, ce savant académicien a commis une erreur, en confondant les effets de la rareté de l'air avec ceux de la lassitude. Celle-ci ne produit point les effets de la rareté de l'air. Souvent, dans ma jeunesse, en revenant de quelque grande course de montagne, je me suis trouvé fatigué au point de ne pouvoir plus me soutenir sur mes jambes; dans cet état qu'Homère a si énergiquement exprimé en disant que les membres sont dissous par la fatigue, et cependant je n'éprouvais ni nausées ni défaillance, et je désirais des restaurants bien loin de les avoir en aversion. D'ailleurs, quoique ces académiciens aient souvent éprouvé de grandes fatigues dans le cours de leurs longs et pénibles travaux, cependant, pour monter au Pichincha, dont il est surtout ici question, ils partaient de Quito, déjà élevé de 14 ou 1 500 toises, et *ils montaient encore fort haut à cheval.* Il ne leur restait donc guères que 3 ou 4 cents toises à faire à pied, ce qui ne pouvait guères produire une fatigue capable de donner lieu aux accidents que décrit Bouguer. Donc le même mouvement musculaire qui n'aurait produit qu'une lassitude médiocre sans aucun accident dans un air dense, produit dans un air très-rare une accélération dans la respiration et dans la circulation, d'où résultent des incommodités insupportables pour certains tempéraments. (T. I, p. 207-209.)

Mais la première interprétation acceptée par de Saussure, la diminution du poids supporté, eut une fortune bien supérieure à son mérite, tandis que la seconde, qui contient, comme nous le verrons, une part de la vérité, resta beaucoup plus ignorée.

Quelques années après lui, le physiologiste Fodéré[1] soulignait pour ainsi dire, son erreur, en assimilant les hémorrhagies de la diminution de pression à celles qui suivent l'application des ventouses :

La pression atmosphérique fait que les vaisseaux ne sont pas trop fortement distendus par les liquides qu'ils renferment et par la force élastique de l'air qui y abonde... Si on supprime cette pression, ou seulement si l'on en diminue l'intensité, les parties subissent des tuméfactions sensibles et des hémorrhagies ; on en a des exemples familiers..... dans la succion, dans l'opération des ventouses, dans les hémorrhagies des voyageurs qui montent sur le sommet des hautes monta-

[1] *Essai de Physiologie positive appliquée spécialement à la médecine pratique*, t. I. — Avignon, 1806.

gnes; dans la pesanteur, le gonflement et le malaise que nous éprouvons, toutes les fois que l'air est plus léger. (P. 220.)

Hallé et Nysten[1] partagent cette opinion, et l'expriment avec une très-grande netteté. Pour eux, tout d'abord, l'action prédominante est due à la soustraction du poids de l'atmosphère :

Lorsqu'on place un animal sous le récipient de la machine pneumatique, ou lorsque l'homme s'élève rapidement à des hauteurs considérables, alors, non-seulement la dilatation subite des fluides élastiques libres, proportionnelle à la diminution rapide de la pression atmosphérique, mais encore la tendance à la dilatation qui existe dans les liquides animaux eux-mêmes, surtout dans les fluides élastiques qu'ils tiennent dissous, peuvent être cause de plusieurs effets remarquables : tels sont un sentiment de malaise général, etc.

Cependant, après avoir décrit les phénomènes présentés par les voyageurs et les aéronautes, les auteurs semblent reléguer au second plan leur explication toute mécanique, car ils ajoutent :

On se rend facilement compte de ces effets. La diminution de la densité de l'air fait que sous un même volume il y en a une moindre quantité. Cet air est donc moins suffisant aux combinaisons qu'il doit éprouver dans l'acte de la respiration: en conséquence, pour que dans un air raréfié ces combinaisons se fassent conformément au but de la nature, il faut respirer proportionnellement plus vite. Telle est la cause de cette respiration haletante et pressée et par conséquent de l'accélération du pouls qui en est la suite. On conçoit même qu'à des hauteurs beaucoup plus considérables la raréfaction de l'air serait telle que l'accélération de la respiration ne suffirait pas pour faire arriver aux poumons la quantité d'air nécessaire à l'entretien de la vie, et que celle-ci finirait par s'éteindre, comme dans les asphyxies, par défaut du principal agent de la respiration. La mort, dans ce cas, pourrait être précédée par divers phénomènes étrangers à la respiration, tels que l'emphysème et diverses hémorrhagies dues exclusivement à l'expansion extrême de toutes les parties du corps.

Nous retrouvons ici, appliquée à la respiration, l'explication déjà donnée par de Saussure; quant aux hémorrhagies, Hallé et Nysten persistent à les attribuer à la diminution du poids supporté par le corps.

Le même cumul d'explications est exprimé avec plus de netteté encore et de sobriété dans la thèse de Courtois[2] :

La plupart de ces phénomènes dépendent tout à la fois des changements qui surviennent dans le poids de l'air et de la quantité plus ou moins considérable d'oxygène que ce fluide contient sous un même volume, selon qu'il est condensé ou raréfié : ainsi des phénomènes chimiques viennent se compliquer avec ceux qui dépendent de la pesanteur de l'air. (P. 17.)

[1] Art. AIR, *Dict. des Sc. méd.*, t. I, p. 248; Paris, 1812.

[2] *Des effets de la pesanteur de l'air sur l'homme considéré dans l'état de santé.* — *Thèses de Paris;* 1813.

A la même époque paraissait un travail remarquable, qui méritait d'attirer davantage l'attention des physiologistes, et qui cependant demeura, au moins dans la partie qui nous intéresse, à peu près complétement ignoré. Je dois même avouer, non sans quelque confusion, que je n'ai connu son existence qu'en faisant, toutes mes expériences terminées, les recherches bibliographiques nécessaires pour la rédaction de la première partie de cet ouvrage.

Legallois[1] fut amené, dans ses recherches sur la chaleur animale, à comparer les variations de la température des animaux à sang chaud avec la quantité d'oxygène qu'ils absorbent dans un temps donné. Parmi les causes qui pourraient agir sur cette absorption, il pense à la raréfaction de l'air, comme un moyen « de faire diminuer la quantité d'oxygène que contient l'air où l'on enferme l'animal ». Legallois maintenait les animaux en vases clos (le manomètre, comme il l'appelle, mesurait 41 litres) pendant tout le temps de l'expérience; il n'a nulle part indiqué le degré de dépression auquel il les avait soumis, mais il est facile de conclure de ses récits qu'il n'a jamais atteint une demi-atmosphère. Je résume dans le tableau suivant les résultats de ses expériences; l'épreuve comparative, faite pour chaque animal sous la pression normale, a, bien entendu, duré le même temps :

	Oxygène consommé.	Acide carb. formé.	Chang. dans la temp. du corps.
1° Lapin, pression normale	7,05	6,16	+ 0°,2
— air raréfié	6,43	5,02	— 2°
2° Lapin, pression normale	6,53	6,56	+ 0°,3
— air raréfié	5,97	4,56	— 2°,2
3° Lapin, pression normale	12,08	8,55	— 1°,3
— air raréfié	9,96	7,60	— 1°,3
4° Chat, pression normale	9,50		— 0°,5
— air raréfié	6,93		— 4°,2
5° Chat, pression normale	8,52	6,20	— 0°,3
— air raréfié	7,66	6,12	— 7°
6° Chien, pression normale	13,26	9,12	— 1°,7
— air raréfié	10,91	9,11	— 4°,2
7° Chien, pression normale	13,19	7,65	— 4°
— air raréfié	10,39	6,63	— 6°,2
8° Cochon d'Inde, pression normale. .	8,49	6,27	— 0°,4
— air raréfié.	7,37	6,56	— 2°,6
9° Cochon d'Inde, pression normale. .	11,41	9,10	— 1°,3
— air raréfié	9,58	8,42	— 4°,8

Legallois tire de ces expériences, par rapport au sujet qui nous

[1] *Deuxième Mémoire sur la chaleur animale;* 1813. — *Œuvres de Legallois, avec des notes de M. Pariset,* t. II. — Paris, 1830.

occupe ici, la conclusion suivante qui montre une admirable sagacité :

Puisque la simple raréfaction de l'air, portée au degré de faire baisser le baromètre de moins de 30 centimètres, suffit pour faire refroidir l'animal qui le respire, il en résulte que le froid qu'on éprouve sur les hautes montagnes ne dépend pas uniquement de celui de l'atmosphère, et qu'il reconnaît de plu une cause intérieure, laquelle agit par la respiration. (P. 59.)

Quel contraste entre ces expériences si nettes, ces conclusions si précises, et l'entassement confus de prétendues explications que, dans cette même année, Dralet[1] donnait tout à la fois des malaises et du mieux-être qu'on éprouve sur les hauts lieux !

L'air des montagnes de moyenne élévation est plus salubre que celui des plaines... Si l'on considère d'ailleurs que la pression de l'atmosphère est moindre à mesure que nous nous élevons, on ne s'étonnera pas si les habitants de la plaine se trouvent plus dispos dans les Pyrénées, mangent avec plus d'appétit, et si le ressort de leur poumon y acquiert de nouvelles forces.

Mais l'homme qui s'approche de la région des glaces ne trouve plus un air aussi favorable à l'économie animale ; la végétation, suivant l'observation de M. Ramond, étant presque nulle dans ces lieux sauvages, l'azote n'est plus absorbé par les organes des plantes, et nuit par son abondance à la salubrité de l'air. MM. Vidal et Reboul ont vérifié que la quantité d'air vital que contenait l'atmosphère au sommet du pic du Midi de Bigorre, était moindre d'environ un quart que dans la vallée. D'ailleurs, comme il y a diminution dans le poids de l'atmosphère, à mesure que ses couches sont plus élevées, lorsqu'un homme est parvenu sur le sommet d'une haute montagne, toutes les parties de son corps, ne recevant plus de l'air environnant une pression suffisante, doivent céder au calorique qui les dilate en cherchant son équilibre dans les corps environnants. De là, relâchement dans la fibre, amollissement dans les parties solides, et excès de fluidité dans les liquides.

Ainsi les personnes qui voyagent dans les hautes montagnes sont sujettes aux hémorrhagies, aux vomissements et aux défaillances ; mais ces incommodités arrivent rarement, à moins qu'on ne s'élève à 2000 toises au-dessus du niveau de la mer. (T. I, p. 36.)

Gondret[2] ne fut pas plus heureux en voulant donner « une explication, sinon complète, du moins satisfaisante, » des accidents observés pendant les ascensions en montagne. Voici ce qu'il dit :

La diminution du poids de la colonne d'air et l'élasticité de nos organes expliquent la turgescence du corps, la dilatation des vaisseaux, des fluides, et par conséquent les hémorrhagies.

Les poumons, habitués à 18 ou 20 inspirations et expirations régulières

[1] *Description des Pyrénées*, 2 vol. — Paris, 1813.

[2] *Mémoire concernant les effets de la pression atmosphérique sur le corps humain, et l'application de la ventouse dans différents ordres de maladie.* — Paris, 1819.

dans l'espace d'une minute, obligés tout à coup, pour absorber une même quantité d'air, à des mouvements multipliés, sont extraordinairement pressés dans leur exercice.

Le cœur se ressent immédiatement de la précipitation des actes du poumon ; de là naissent les pulsations accélérées, les lipothymies.

Les deux mouvements que le cœur et le poumon impriment au cerveau étant ainsi accélérés, on conçoit les changements qui se passent dans cet organe, et par conséquent dans ses fonctions : c'est à ces altérations que l'on peut rapporter les vertiges, les étourdissements, les syncopes, tous les désordres qui en sont la suite.

Les différences qui se remarquent chez les divers individus, dans l'intensité des symptômes, dépendent de l'idiosyncrasie. (P. 40.)

Cependant il faut reconnaître qu'il eut le premier l'idée d'appliquer l'air raréfié à la thérapeutique. De l'influence très-manifeste qu'exercent sur nous les changements dans la pression barométrique, il tire cette indication :

Peut-être parviendrait-on à construire des chambres de telle manière que l'on pût, à l'aide de la pompe pneumatique, y introduire à volonté un air plus ou moins dense, suivant l'exigence du cas. (P. 45.)

Le reste du volume est exclusivement consacré à l'étude de l'influence des ventouses simples et scarifiées.

Les voyageurs anglais qui, au commencement de ce siècle, parcoururent les régions élevées de l'Inde, ont introduit dans l'explication du mal des montagnes un élément nouveau. D'après leurs récits, les natifs de ces contrées attribuent les malaises qui frappent les étrangers et les indigènes eux-mêmes, à l'action d'un vent empoisonné; pour la plupart, ce sont les émanations de certaines plantes qui donneraient à l'air ces qualités toxiques.

C'est à Fraser[1] le premier que nous devons ce curieux renseignement; il faut dire qu'il se hâte de repousser cette explication, et cela par un excellent motif :

Je ne me doutais pas que l'altitude pouvait si durement affecter les forces et la poitrine, et cependant c'était bien elle uniquement, quelque difficile que fût l'ascension; car nous avions eu sous ce rapport d'au moins aussi mauvaises journées auparavant ; et quoiqu'on nous assurât que l'air était empoisonné par l'odeur des fleurs, et bien qu'il y en eût en effet une profusion pendant la première partie de notre route, la plupart n'avaient pas d'odeur, et nous ne pouvions rien percevoir dans l'air. Bien plus, nous souffrîmes surtout en atteignant la gorge élevée de Bamsooroo, où il n'y avait pas de végétation, et par conséquent pas de parfums de fleurs. (P. 449.)

[1] *Loc. cit. : Journal of a Tour*, etc.; 1820.

Le docteur Govan[1], qui accompagna le capitaine Al. Gérard dans son premier voyage en 1817, rapporte la même tradition, sans y croire davantage. Mais, très-étonné du manque de proportion signalé déjà par les voyageurs entre l'altitude et l'intensité des accidents, il en arrive à l'idée singulière de faire jouer dans ces phénomènes un rôle actif à l'électricité :

Sur les sommets extrêmes des montagnes du Choor apparaissent d'abord le genévrier, le rhododendron alpin et le grand aconit, dont les effets toxiques bien connus, quand on en fait un usage interne, semblent avoir donné naissance à cette croyance répandue chez les indigènes, qu'il empoisonne l'air aux alentours : opinion à laquelle je ne puis découvrir nul fondement, sinon que dans les endroits élevés habités par cette belle plante, les voyageurs éprouvent souvent, mais non toujours, les phénomènes désagréables, attribués ordinairement à la dilatation de l'air.

Si les symptômes regardés par d'éminents naturalistes comme dépendant de cette dilatation doivent lui être réellement imputés, comment se fait-il qu'ils ne soient pas proportionnels à l'élévation et à la raréfaction, et qu'ils n'arrivent pas invariablement quand elles atteignent un certain degré?

J'ai passé la nuit, en deux circonstances, à des hauteurs de plus de 14 000 pieds au-dessus de la limite des neiges perpétuelles, j'ai traversé le Rol-Pass (beaucoup au-dessus de 15 000 pieds), accompagné de 40 soldats indigènes, sans que personne d'entre nous ait éprouvé ces symptômes fâcheux. Or, dans les mêmes endroits, et même à des hauteurs moins grandes, ils ont été observés dans d'autres ascensions et annoncés à l'avance par les indigènes.

Tout ceci semble indiquer que ces phénomènes dépendent de circonstances atmosphériques moins générales, comme l'agent électrique qui, en présence de conducteurs si élevés, doit être dans un état de constante fluctuation. (P. 282).

Le capitaine Al. Gérard[2], dans le récit de son voyage de 1818, parle également des plantes empoisonnées :

Il est bon de faire remarquer que les habitants du Koonawur estiment la hauteur des montagnes par la difficulté de respirer pendant leur ascension, difficulté qu'ils attribuent à une plante toxique ; mais, malgré nos recherches faites à chaque village, nous n'avons trouvé personne qui ait jamais connu cette plante, et, d'après notre expérience, nous inclinons à attribuer ces effets à la raréfaction de l'atmosphère, car nous les avons éprouvés à des hauteurs où il n'y avait plus de végétation. (P. 49).

Il revient encore sur cette hypothèse dans son livre sur le pays de Koonawur[3], mais toujours pour la repousser :

[1] *Additionnal Observations on the Natural History and Physical Geography of the Himalayah Mountains, between the River-Beds of the Jumna and the Sutlej. — The Edinburgh Journal of science, conducted by D. Brewster*, vol. II. p. 277-287, 1825. Lu devant la Soc. royale d'Edimb., le 10 décembre 1824.

[2] *Loc. cit. : The Edinb. Journal of science*, vol. I; 1824.

[3] *Loc. cit. : Account of Koonawur*, etc. — London, 1841.

Ceux qui traversent ces chaînes attribuent ces effets fâcheux à l'influence de plantes empoisonnées ; mais ceux qui, mieux informés, ont l'habitude de traverser ces hauteurs où il n'y a pas de végétation, savent bien qu'ils sont produits par la hauteur seule. (P. 37.)

Mais en racontant son expédition et son séjour à la passe de Shatool (4 830^{m}), le docteur Gérard[1] ne daigne plus s'occuper de l'explication des indigènes. Il souffre beaucoup, comme le prouve le récit que nous avons rapporté plus haut, et cherche naturellement, mais sans y réussir, la cause de son mal ; chemin faisant, il combat le scepticisme de ceux qui ont été épargnés pour des raisons quelconques :

J'ai reçu là une leçon que je n'oublierai jamais, et je ne doute pas qu'un homme d'une constitution plus pléthorique n'eût succombé sous les effets de suffocations apoplectiques. Le sang abandonna les extrémités, et la pression était tellement diminuée à la surface du corps dans cet air raréfié, que le sang se précipitait à la tête et produisait des vertiges. (P. 308.). . . . .
. . . .
La cause des accidents n'est pas très-facile à voir, et ces symptômes extraordinaires de prostration des forces, d'anxiété et de faiblesse intellectuelle ne sont pas expliqués d'une manière satisfaisante, et bien que nous ne puissions hésiter à en rapporter la cause principale et immédiate à la légèreté de l'air, ou plus exactement à la pression diminuée, par laquelle la balance de la circulation est détruite, néanmoins, les effets sont si capricieux et si irréguliers, qu'ils peuvent à peine concorder avec l'idée d'une cause constante. Ce qui amène même à nier l'existence des symptômes, et ceux qui ont, par hasard, résisté à cette impression en traversant les montagnes, restent inébranlables dans leur conviction ; mais je sais que vous me croirez dans mes récits, quoique vous n'ayez ressenti que du mal de tête sur le Boorendo. J'ai aussi passé la nuit ici sans aucun symptôme, excepté de la faiblesse. (P. 320.). . . . .
. . . .
Comme la respiration ne peut avoir lieu dans le vide, nous devons considérer que, à la hauteur de 18 480 pieds (5 630^{m}), l'épuisement de l'air est à peu près à moitié, et comme le tout ne peut avoir que la somme des effets de ses composants, l'action progressive devient ici une série arithmétique, réductible à une expérience de physique, dans laquelle les coups de piston d'une pompe pneumatique paraissent attirer de plus en plus la main placée sur l'ouverture, jusqu'à ce que la pression supérieure dépasse assez l'inférieure pour être insupportable à l'expérimentateur. A 18 480 pieds, le baromètre, dans l'état moyen de l'air, se tient à 15 pouces, de sorte que nous respirions alors dans un air moitié dense que celui du bord de la mer ; qui pourrait être surpris des effets observés ? (P. 323.)

Le capitaine Hodgson[2], qui rapporte à son tour les dires des indigènes, ne paraît pas éloigné d'y croire lui-même :

Les montagnards, qui ne savent rien de la raréfaction de l'air, attribuent leur

[1] *Loc. cit. : Narrative of a journey*, etc.; t. I — London, 1840.
[2] *Loc. cit., Asiatic Research.*, t. XIV; 1822.

faiblesse aux exhalaisons de plantes nuisibles, et je crois qu'ils ont raison, car une sorte d'effluve malsain était exhalée par elles aussi bien ici que sur les hauteurs inférieures aux pics neigeux que j'ai franchis l'année dernière sur le Setlej; quoique sur la neige la plus élevée, on ne se plaignait pas de la faiblesse, mais de l'impossibilité de marcher quelque temps sans s'arrêter pour respirer. (P. 111.)

Nous verrons plus tard, par le témoignage des voyageurs modernes, que cette idée du vent empoisonné par les plantes est encore aujourd'hui tout à fait populaire dans la Haute-Asie.

Si nous revenons maintenant dans nos Alpes, nous trouvons, vers la même époque, Hipp. Cloquet[1] reproduisant l'explication mécanique :

La pression de l'air, qui pèse continuellement sur nous et en tous sens,.... paraît nécessaire au maintien de l'équilibre entre les solides vivants et les humeurs qui circulent ou qui flottent dans leur sein; elle contrebalance la force élastique des fluides de notre corps; et puisqu'ici cette pression est considérablement diminuée, il n'y a rien d'étonnant que l'équilibre soit rompu. (P. 36.)

Le docteur Hamel[2], lorsqu'il entreprit en 1820, au mont Blanc, l'expédition qui devait avoir des suites si funestes, s'était proposé d'y faire des expériences; l'un de ses projets témoigne d'une remarquable sagacité et indique des vues hypothétiques très-nettes et très-scientifiques sur la cause et les effets de l'air raréfié :

J'avais préparé un flacon d'eau de chaux pour voir si, en haut, l'air expiré était chargé de carbone dans la même proportion que dans les régions où à chaque inspiration il entre environ un tiers de plus d'oxygène avec le même volume d'air atmosphérique. Je comptais aussi extraire, en haut, le sang de quelque animal, pour voir à sa couleur s'il avait été suffisamment décarbonisé dans les poumons.

Le récit de l'ascension au mont Blanc, exécutée par Clissold[3] en 1822, nous apporte une explication que, jusqu'ici, nous n'avons pas vue apparaître et qui pourrait servir de type à cette physiologie des vraisemblances qui a tant fait de mal à la science.

Clissold attribue en premier lieu les accidents observés à la moindre quantité d'oxygène contenue dans un même volume d'air, ce qui nécessite que la respiration soit accélérée et approfondie.

D'autre part, l'énergie musculaire étant en général diminuée, le poumon se dilate moins, et il faut y suppléer par la plus grande

[1] *Loc. cit.*, *Nouveau Journal de médecine*, t. VII; 1820.
[2] *Loc. cit.* : *Bibl. univ.*, t. XIV; 1820.
[3] *Loc. cit.* : *Bibl. univ.*, t. XXIII; 1823.

fréquence des inspirations. Alors le rédacteur de la *Bibliothèque universelle* ajoute :

Clissold touche ici, sans la développer, à l'une des causes à laquelle nous serions tentés d'attribuer la plus grande influence sur l'un des effets observés ; nous voulons parler de la dilatation qu'éprouve l'air renfermé dans la cavité abdominale, à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère ; dilatation qui, soulevant le diaphragme, diminue d'autant la capacité de la boîte thoracique, et ne permet pas au poumon de se développer autant qu'à l'ordinaire, jusqu'à ce que, par quelques communications lentes avec l'extérieur, l'équilibre entre les cavités abdominale et thoracique se rétablisse, et que celle-ci reprenne sa capacité ordinaire.

Le naturaliste français Roulin[1], qui séjourna pendant plusieurs années en Bolivie, envoya en 1826 à Magendie une lettre contenant des observations sur le nombre des battements du pouls, faites chez les mêmes personnes à Guaduas (pression moyenne 718^{mm}) et à Santa-Fé-de-Bogota (560^{mm} ; $2\,643^{m}$ au-dessus du niveau de la mer). Elle montrent une légère augmentation du nombre des pulsations dans ce dernier séjour. La différence est assez faible, et M. Roulin en conclut :

D'après cela, il est permis de supposer que les effets qu'on ressent quand on gravit sur de hautes montagnes et qu'on rapporte entièrement à la diminution de pression, quand ils ne sont pas dus au froid ou à la fatigue de l'ascension, doivent être considérés en grande partie comme des phénomènes nerveux.

Et cependant, quelques pages plus loin, l'auteur ajoute :

La gêne que je sentais dans la respiration, sur le plateau de Bogota, fut d'abord attribuée à l'état de ma santé ; mais je reconnus que plusieurs personnes, récemment arrivées sur le plateau, se plaignaient également de cette gêne.

C'est évidemment plutôt à cause du nom de leur auteur, qu'à cause de leur importance propre, que j'ai cité ces observations ; elles ne sont rien moins que concluantes.

C'est également à titre de curiosité que je rapporte ici les conclusions d'un travail de John Davy[2] sur les gaz des liquides et des solides du corps ; c'est un véritable recul en arrière de ce que nous avaient appris Robert Boyle et Darwin. Mais le lecteur peut ainsi juger des hésitations entre lesquelles flottait l'esprit des physiologistes.

[1] *Observations sur la vitesse du pouls à différents degrés de pression atmosph.* — *Journ. de Physiol. de Magendie*, t. VI, p. 1-15 ; 1826.

[2] *On the Effects of removing Atmospheric Pressure from the fluids and solids of the human Body.* — *Transactions of the Medico-Chirurgical Society of Edinburgh*, vol. III, p. 448-158 ; 1829.

J. Davy exécuta de nombreuses expériences en vue de rechercher si les liquides ou les solides contiennent des gaz que la pompe pneumatique puisse extraire. Les résultats obtenus ont toujours été négatifs, et il en conclut qu'il n'y a pas de gaz libres dans le sang, ce qui serait, du reste « unchemical » et incompatible avec la vie, car à la moindre augmentation de température, ou diminution de pression, rien ne pourrait prévenir le dégagement de ces gaz.

Or, il est curieux de voir, peu d'années après, un célèbre médecin français, Rostan[1], invoquer justement, d'une manière vague, il est vrai, l'influence de ces gaz, pour expliquer les accidents de la décompression. Il y mêle les idées erronées que nous avons déjà rencontrées et que nous retrouverons souvent encore, sur la part qui reviendrait à la diminution du poids supporté par le corps :

Si l'on place un animal vivant dans le vide, l'air intérieur, n'ayant plus rien qui lui résiste, se dilate, l'animal se gonfle et périt..... C'est la pression de l'air qui retient les fluides dans les vaisseaux des animaux et les empêche de s'échapper. Lorsque le baromètre descend de quelques degrés, les fluides tendent donc à la périphérie; il y a difficulté de respirer, embarras de la circulation, congestion vers la tête. (P. 340.)

Vers la même époque parut un mémoire anglais qui a du moins le mérite de l'originalité, dans le sens de bizarrerie. Cunningham[2] fait jouer, comme l'avait déjà fait Govan, un rôle de premier ordre à l'électricité, expliquant ainsi l'inconnu par l'inconnu; mais il y ajoute une idée étrange : il y aurait une différence radicale entre les effets de l'ascension des montagnes dans l'un et l'autre hémisphère :

Les symptômes apoplectiques caractérisent le malaise des voyageurs au mont Blanc, tandis que dans l'hémisphère sud on est menacé par tous ceux qui accompagnent la syncope. . . . .
Les premiers ont été attribués à la grande raréfaction de l'air qui permet aux parties molles du corps humain de se dilater par suite de la réduction de la pression qui s'exerçait sur elles; donc, comme une élévation semblable dans les Andes produit des effets d'une nature opposée, nous devons chercher à expliquer ces derniers par d'autres causes que la raréfaction de l'air.

Cette cause, l'auteur la trouve dans l'électricité,

Qui occupe, dans l'hémisphère nord, la partie supérieure du corps, et, dans l'hémisphère sud, la partie inférieure, et tend ainsi à attirer le sang vers la tête dans

[1] *Dictionnaire de Médecine*, article *Atmosphère*, t. IV; 1833.
[2] *Effects of Mountain Elevation upon the human Body*. — London, *Med. Gaz.*, t. XIV, p. 207, 520; 1834.

le premier, et vers les pieds dans le second,.... ce qui explique encore pourquoi le malaise est guéri par la position horizontale.

Nous croyons inutile d'insister davantage, et nous rapporterons de même sans réflexion aucune les quelques lignes que Burdach[1], dans son immense encyclopédie, consacre aux effets de la diminution de pression sur l'organisme; on y voit clairement qu'il les attribue au défaut du support de l'air sur les vaisseaux sanguins :

La pression de l'atmosphère, dit-il, égale sur le corps humain un poids de 30 à 36 000 livres; elle maintient les dispositions mécaniques de l'organisme dans leur état normal, et concourt notamment à favoriser la circulation, en restreignant l'afflux du sang vers la surface..... On a quelquefois remarqué sur les hautes montagnes, où l'air est très-raréfié, des accidents causés par des congestions vers divers organes. (P. 325.)

Une des grandes difficultés contre lesquelles se sont heurtés de tout temps les auteurs, c'est la non-proportionnalité de la gravité des accidents avec la hauteur à laquelle parviennent les voyageurs, et cela non-seulement d'un hémisphère à l'autre, mais dans la même contrée, sur la même chaîne de montagnes.

C'est pour cette raison que l'Allemand Pœppig[2], qui a donné du *mal des montagnes* des Andes une description si complète, ne peut se résoudre à en trouver la cause dans la diminution de la pression atmosphérique :

L'idée que la Puna, la Veta, ne dépend point de la raréfaction de l'air, mais d'une altération dans sa composition, trouve un appui dans cette observation que la maladie n'est pas toujours en rapport avec la hauteur d'un lieu au-dessus du niveau de la mer. La cabane de Casacaucha est à peu près au même niveau que le Cerro de Pasco, le pas de Viuda est un millier de pieds plus haut, et je n'y ai jamais éprouvé la moindre sensation de malaise. (T. II, p. 84.)

M. Boussingault[3] fut, lui aussi, frappé de ces inégalités; mais, plus hardi que Pœppig, il en cherche l'explication :

Dans toutes les excursions que j'ai entreprises dans les Cordillères, j'ai toujours éprouvé, à hauteur égale, une sensation infiniment plus pénible en gravissant une pente couverte de neige qu'en m'élevant sur une roche nue; nous avons beaucoup plus souffert en escaladant le Cotopaxi, qu'en montant le Chimborazo. C'est que sur le Cotopaxi nous sommes constamment restés sur la neige.

Les Indiens d'Antisana nous assuraient aussi qu'ils éprouvaient un étouffement (ahogo) lorsqu'ils marchaient pendant longtemps sur une plaine neigeuse ; et j'avoue qu'en considérant bien les incommodités auxquelles de Saussure et ses guides fu-

[1] *Traité de Physiologie,* trad. Jourdan, t. VI; 1837.
[2] *Loc. cit. : Reise in Chile,* etc.; 1836.
[3] *Loc. cit. : Ann. de Chimie,* 2e série, t. LVIII; 1835.

rent exposés en bivouaquant sur le mont Blanc, à la simple hauteur de 3888 mètres, je suis disposé à les attribuer au moins en partie à l'action encore inconnue de la neige. En effet, leur bivouac n'atteignait même pas la hauteur des villes de Calamarca et de Potosi.

Sur les hautes montagnes du Pérou, dans les Andes de Quito, les voyageurs et les mulets qui les portent éprouvent quelquefois et presque subitement une très-grande difficulté à respirer; on assure avoir vu des animaux tomber dans un état voisin de l'asphyxie. Ce phénomène n'est pas constant, et, dans beaucoup de circonstances, il paraît indépendant des effets causés par la raréfaction de l'air. On l'observe surtout lorsque des neiges abondantes couvrent les montagnes et que le temps est calme.

C'est peut-être ici le lieu de remarquer que de Saussure se trouvait soulagé des incommodités qu'il ressentait sur le mont Blanc, lorsqu'une bise légère se faisait sentir. En Amérique, on désigne sous le nom de *soroche* cet état météorologique de l'air, qui affecte si fortement les organes de la respiration. Soroche, dans la langue des mineurs américains, signifie de la pyrite; ce nom indique assez que l'on a cherché la cause de ce phénomène dans les exhalaisons souterraines. La chose n'est pas impossible, mais il est plus naturel de voir encore, dans le soroche, un effet de la neige.

La suffocation que j'ai éprouvée plusieurs fois moi-même en gravissant sur la neige, quand elle était frappée par les rayons du soleil, m'a fait supposer qu'il pouvait s'en dégager, par l'action de la chaleur, de l'air visiblement vicié. Ce qui me soutenait dans cette idée singulière, c'était une ancienne expérience de de Saussure, par laquelle il crut reconnaître que l'air dégagé des pores de la neige contenait beaucoup moins d'oxygène que celui de l'atmosphère. L'air soumis à l'examen avait été recueilli dans les interstices de la neige du col du Géant. L'analyse en fut faite par Sennebier, au moyen du gaz nitreux, et en opérant comparativement avec de l'air de Genève. (P. 167.)

M. Boussingault répète alors l'expérience de Sennebier avec la neige qu'il avait prise sur le Chimborazo. L'analyse ordinaire lui donne seulement 16 p. 100 d'oxygène. Mais le célèbre chimiste déclare lui-même qu'une objection peut « à la rigueur » être faite à sa méthode : c'est que la neige ayant fondu dans la bouteille, l'air, s'étant trouvé en présence d'eau peu aérée, a pu lui céder une partie de son oxygène. Cela dépend, évidemment, de la quantité d'air relativement à la quantité d'eau, proportion non indiquée dans le travail que nous citons.

Mais plus tard, du reste, M. Boussingault, ayant repris cette question[1], a montré que la pauvreté apparente en oxygène de l'air contenu dans les pores de la neige tient à ce que l'oxygène se dissout en plus forte proportion que l'azote dans l'eau de fusion. Il ne reste donc rien de sa première hypothèse.

Ces résultats contradictoires, dus au perfectionnement des mé-

[1] *Sur la composition de l'air qui se trouve dans les pores de la neige. — Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. I, p. 354-360; 1841.

thodes d'analyse chimique, rappellent de très-près les opinions différentes qu'en 1804 et en 1837 émit sur le même sujet l'illustre de Humboldt.

Dans les lettres qu'il écrivit à son frère et à Delambre, immédiatement après ses ascensions de l'Antisana et du Chimborazo, de Humboldt déclarait qu'à ses yeux

Le malaise, la débilité, l'envie de vomir, provenaient certainement autant du manque d'oxygène de ces régions que de la rareté de l'air. Il n'avait trouvé que 0,20 d'oxygène à 3 031 toises, sur le Chimborazo. (P. 175[1].)

Et cependant, il résulte de sa lettre à son frère[2] que les mêmes accidents les atteignirent au sommet de l'Antisana, où cependant l'analyse leur montrait dans l'air la proportion normale de 0,218 d'oxygène.

Mais lorsque, en 1837[3], il revient sur les détails de son récit, il ne parle plus de la composition chimique de l'air, mais seulement de la moindre quantité d'oxygène dans un même volume; de plus, il introduit dans la science une explication nouvelle de la fatigue des montagnes, explication malheureuse et qui cependant fut pendant bien longtemps acceptée sans conteste :

D'après l'état actuel de l'eudiométrie, l'air paraît aussi riche en oxygène dans ces hautes régions que dans les régions inférieures; mais, dans cet air raréfié, la pression du baromètre étant moindre de moitié que celle à laquelle nous sommes ordinairement exposés dans les plaines, une moindre quantité d'oxygène est reçue par le sang à chaque aspiration, et on conçoit parfaitement comment il en résulte un sentiment général de faiblesse. Ce n'est pas ici le lieu de rechercher pourquoi cette asthénie excite sur les montagnes, comme dans le vertige, de préférence le malaise et l'envie de vomir, non plus que de démontrer que l'éruption du sang ou le saignement des lèvres, des gencives et des yeux, que n'éprouvent pas tous les individus à des hauteurs si grandes, ne peut nullement être expliqué d'une manière satisfaisante par l'enlèvement progressif d'un contre-poids mécanique qui comprime le système vasculaire. Il conviendrait plutôt d'examiner la vraisemblance de l'influence d'une moindre pression de l'air sur la lassitude lorsque les jambes se meuvent dans les régions où l'atmosphère est très-raréfiée; puisque, d'après la découverte mémorable[4] de deux savants ingénieux, MM. Guillaume et Édouard

[1] *Loc. cit. : Lettre à Delambre. — Ann. du Museum*; t. II, 1803.
[2] *Loc. cit. : Ibid.*
[3] *Loc. cit. :Ann. de Chimie*, 2e série; t. LXIX, 1838.
[4] Le fait que la pression atmosphérique est la véritable cause du maintien des adhérences articulaires a été, ce qu'on ignore généralement, découvert par le physiologiste français Bérard. Guérard, qui en a porté témoignage, s'exprime dans les termes suivants :
« Longtemps avant que les travaux de ces physiologistes fussent connus en France, M. Bérard, dans un concours pour le bureau central (vers 1828 ou 1829), avait, suivant l'usage alors établi, fait imprimer une série de propositions sur lesquelles l'argumenta-

Weber, la jambe, attachée au corps, n'est supportée, quand elle se meut, que par la pression de l'air atmosphérique. (P. 419.). . . . .

Si M. Gay-Lussac qui, le 16 septembre 1804, atteignit à la hauteur prodigieuse de 21 600 pieds, par conséquent entre celle du Chimborazo et de l'Illimani, ne rendit pas de sang, il faut peut-être l'attribuer à l'absence de tout mouvement musculaire. (P. 418.)

Vers cette époque un médecin français, le docteur Junod[1], conçut et exécuta le premier l'idée, déjà entrevue par Gondret, de diminuer artificiellement la pression dans des appareils suffisamment vastes pour qu'un homme y puisse séjourner.

M. Junod avait été amené à faire ses expériences par les effets qu'il ressentit de l'air dilaté dans les Alpes, dans les Pyrénées, au mont Etna. Son appareil consistait en une sphère de cuivre de $1^{m},30$ de diamètre, dans laquelle un homme pouvait s'asseoir :

Lorsqu'une personne est placée dans l'intérieur du récipient, et qu'on diminue *d'un quart* la pression naturelle de l'air, voici ce que l'on observe :

1° La membrane du tympan se trouve distendue, ce qui produit une sensation assez incommode, qui se dissipe à mesure que l'équilibre se rétablit;

2° La respiration est gênée : les inspirations sont courtes et fréquentes au bout de 15 ou 20 minutes. A cette gêne de la respiration succède une véritable dyspnée;

3° Le pouls est plein, dépressible, fréquent; tous les ordres de vaisseaux superficiels sont dans un état de turgescence manifeste. Les paupières et les lèvres sont distendues par la surabondance des fluides. Assez fréquemment il survient des hémorrhagies, avec tendance à la syncope. La peau est le siége d'une chaleur incommode et ses fonctions sont activées;

4° Le peu d'activité de l'hématose, l'expansion plus ou moins grande des gaz qui circulent avec le sang, la surabondance de ce liquide dans les différents ordres de vaisseaux superficiels, expliquent assez le défaut d'innervation qui se caractérise par le manque d'énergie et par une apathie complète;

5° Les glandes salivaires et rénales sécrètent avec une moindre abondance leurs fluides, et cet effet paraît s'étendre sur tout le système glandulaire;

6° Le poids du corps paraît diminuer d'une manière sensible.

Le mémoire est terminé par la description des grandes ven-

tion eut lieu. L'une de ces propositions était conçue en ces termes : La pression atmosphérique peut, suivant les cas, favoriser ou rendre plus difficiles les désarticulations. A l'appui de cette proposition, M. Bérard citait une expérience qu'il avait imaginée, et qui consistait à enlever tous les muscles qui fixent la cuisse au bassin et à couper le ligament capsulaire lui-même. En tirant sur la jambe, l'adhérence de la tête du fémur à la cavité cotyloïde sous l'influence de la pesanteur suffisait pour que l'on pût traîner le cadavre sur le sol sans que les deux parties de l'articulation vinssent à se séparer ». (*Ann. d'hyg. publique et de méd. lég.*, 2e série, t. I, 1854, p. 304.)

Ce qui appartient bien en propre aux physiologistes allemands, c'est l'application erronée qu'ils ont faite de cette vérité à la théorie de la marche.

[1] *Recherches sur les effets physiologiques et thérapeutiques de la compression et de la raréfaction de l'air, tant sur le corps que sur les membres isolés. — Ann. gén. de Méd.*, 2e série, t. IX, p. 157-172; 1835.

touses et de quelques cas pathologiques traités par elles. C'est à l'application de cette méthode de traitement, à laquelle il a donné le nom d'*hémospasie*, que M. Junod a consacré depuis tous ses efforts [1]. Elle n'a vraiment aucun rapport avec notre sujet, puisqu'il s'agit ici de rompre l'équilibre de pression entre divers points du corps, grâce à l'application d'un vide partiel sur un ou plusieurs membres. C'est ce qu'a mis d'abord en évidence Magendie[2] dans le rapport qu'il fut chargé de présenter à l'Académie des sciences sur les travaux de M. Junod.

Le célèbre physiologiste commence par rappeler l'histoire des ventouses, qui datent des Egyptiens, et il en arrive aux chambres barométriques de M. Junod par une transition qui indique que, malgré lui, il les rapproche encore de ces ventouses :

Ces appareils, dit-il en effet, ont été construits dans la vue de varier, soit en plus, soit en moins, la pression que le corps de l'homme supporte en raison de l'étendue de ses surfaces cutanées et pulmonaires. . . . .

C'est en agissant à la fois sur les deux surfaces que cet appareil diffère de ceux qui ont été imaginés en Angleterre par MM. Murray et Clanny ; ces derniers portent exclusivement leur action sur la peau, le poumon restant en libre communication avec l'air extérieur, par un tuyau séparé [3].

Puis, arrivant à la partie du travail de M. Junod qui a de quoi nous intéresser, Magendie reproduit le récit des phénomènes présentés par l'homme soumis à l'action de l'air comprimé ou dilaté ; nous venons d'emprunter au mémoire original ce qui a trait à ce dernier point.

Nous avons le regret d'ajouter que Magendie n'a pas fait preuve d'un sentiment bien exact de l'avenir en disant :

Sous le point de vue médical, ces appareils ne paraissent jusqu'ici susceptibles

[1] *De l'Hémospasie. — Recueil de Mémoires sur les effets thérapeutiques de cette méthode de traitement.* — Paris, 1850.

[2] *Rapport sur un Mémoire* ayant pour titre : *De la Condensation et de la Raréfaction de l'Air, opérées sur toute l'habitude du corps ou sur les membres seulement, considérées sous leurs rapports thérapeutiques, par M. Th. Junod, M. D. — Cpt. R. Acad. des Sc.*, t. I, p. 60-65 ; 1835.

[3] C'est en effet ce que déclare Clanny lui-même : « Il est curieux de voir qu'au même moment sir James Murray de Dublin, Th. Junod de Strasbourg, et moi, nous avons inventé un appareil semblable, dans le but de diminuer la pression de l'atmosphère à la surface du corps, sans que rien ait été publié antérieurement dans quelque journal ». (*Researches of M. Junod into the physiological and therap. effects of the compression and rarefaction. — The Lancet,* 1835-36 ; t. II, p. 359.)

Clanny et Murray n'avaient inventé que la grande ventouse. — *Apparatus for removing the Pressure of the Atmosphere from the Body or Limbs. — The Lancet,* 1834-35 ; t. I. p. 804-805.

d'aucune application..... Il n'en est pas de même de ceux que M. Junod propose pour opérer le vide autour des membres ou pour y condenser l'air.

Il n'est pas étonnant de constater qu'après ces réflexions peu encourageantes, M. Junod renonça à l'emploi de l'air dilaté comme milieu général, et se borna à perfectionner[1] les grandes ventouses qui portent son nom, agent thérapeutique des plus puissants, et fort injustement négligé par les médecins. Mais il arriva que, par une confusion singulière, on continua à appliquer à l'action générale de la diminution de pression des explications très-justes quand il s'agit du vide local par les grandes ventouses. Je citerai comme exemple de cette erreur les réflexions du d^r H. Favre[2] :

Les principes sur lesquels repose la méthode-Junod sont des plus simples : M. Junod, né dans les Alpes, avait par lui-même ressenti la différence de pression suivant qu'on s'élève ou qu'on descend dans les montagnes. Les expériences de de Saussure, de Gay-Lussac, furent par lui reprises avec le plus louable discernement.

Qu'on gravisse jusqu'au sommet du mont Blanc, qu'on s'élance en ballon à 7000 mètres du sol, on éprouve des effets remarquables, tenant uniquement au défaut de pression exercée à ces hauteurs par l'atmosphère de plus en plus raréfiée.

Artificiellement on sait, en pratiquant le vide, raréfier l'air, c'est-à-dire diminuer la pression dans un espace circonscrit. S'il s'agit d'un corps vivant, certains effets produits par l'ascension dans les régions de l'atmosphère vont alors apparaître : tel est le but de l'hémospasie; le docteur Junod l'atteignit par la création de sa grande ventouse. (P. 7.)

En revenant maintenant aux voyageurs en montagne, nous retrouvons la série des idées erronées préconçues et des contradictions apparentes que nous avons signalées déjà. La difficulté d'expliquer les faits entraîne beaucoup d'entre eux à la négation. Un exemples de ces protestations théoriques nous est fourni par le rédacteur de la Bibliothèque universelle de Genève[3], qui analysait le récit de l'ascension du Dr Barry au mont Blanc :

Les circonstances observées par M. Barry sont si peu importantes qu'elles nous confirment dans l'opinion que la fatigue joue un plus grand rôle que la rareté de l'air ou l'influence présumée de la neige..... Nous pouvons affirmer que ce sont les mêmes sensations éprouvées par les voyageurs ordinaires quand ils approchent de la cime d'une *montagne quelconque*.

[1] Junod, *Traité théorique et pratique de l'hémospasie.* — Paris, 1875.

[2] *Considérations sur les effets thérapeutiques de l'hémospasie, d'après les observations recueillies en Algérie par T. Junod.* — Paris, 1858.

[3] *Bibl. univ. de Genève,* 2e série, t. V, p. 151 ; 1836.

Je prie le lecteur de se reporter aux paroles mêmes de Barry (voy. p. 103) ; il trouvera là, je l'espère, une preuve de la nécessité des citations textuelles.

Il est curieux de constater que M. Martins[1], qui devait être plus tard, comme par une sorte de punition de son scepticisme, si malade au mont Blanc, partageait alors ces sentiments. Les récits sur le mal des montagnes le laissaient fort incrédule :

Quant à nous, dit-il, occupés nuit et jour de nos observations, nous cherchions aussi à interroger nos sensations pour découvrir si cette habitation élevée (2680^{m}) exerçait quelque influence physiologique sur nos organes. Mais c'était en vain..... J'ai relu, depuis mon séjour, tout les récits des ascensions au mont Blanc, depuis de Saussure jusqu'à Mlle d'Angeville, et les sensations éprouvées par ces voyageurs s'expliquent très-bien par la fatigue. . . . .

Sans doute l'air des montagnes est plus raréfié, mais il est aussi plus vif.... La vivacité de l'air, jointe à sa ténuité, ranime le voyageur et double ses forces : car la composition chimique est la même. (P. 213.)

J'avoue que je suis étonné qu'un homme d'un esprit aussi clair et aussi perspicace ait pu employer de semblables expressions. Que signifient ces mots « air plus vif? » Les paysans suisses voyant le célèbre professeur de Montpellier recueillir de l'air dans des ballons et l'envoyer à Paris, et s'imaginant qu'il voulait le faire respirer à quelque illustre malade, hochaient la tête et disaient : « notre air arrivera *mort* ». On voit qu'au fond ils pensaient comme M. Martins.

Le Dr Rey[2], dont le travail est souvent cité, et qui, sans paraître avoir jamais fait d'ascension, écrivit un article dogmatique sur le mal des montagnes, arrive, après l'énumération descriptive, à l'explication théorique. Il voit bien, et en cela il n'a pas le mérite de l'invention, que l'air raréfié est cause de tous ces troubles :

Ce n'est ni la fatigue qui ôte la faculté de respirer, ni la difficulté de respirer ou une respiration incomplète qui causent l'épuisement, comme on l'a dit quelquefois, c'est la diminution de la densité de l'air. . . . .

Ces effets sont dus au relâchement de la fibre occasionné par la diminution de la force comprimante de l'air, et voici comment. (P. 334.)

Suit le calcul habituel sur la différence du poids supporté par le corps aux différentes hauteurs. Au Saint-Bernard, « l'action de l'atmosphère est diminuée d'un quart ou de 5500 livres, ce qui dilate les vaisseaux dans une proportion semblable. » Puis, aux expli-

[1] *Ascension au Faulhorn.— Revue médicale*, 1841, t. IV.
[2] *Loc. cit. : Influence*, etc. — *Revue médicale*, 1842, t. IV.

cations « fournies par la science » Rey en ajoute une, que je ne puis m'empêcher de trouver assez bizarre :

Nous ne montons guère au sommet d'une tour très-élevée sans faire de fréquentes pauses en chemin, et nous n'y parvenons, le plus souvent, qu'avec une peine extrême. Ce n'est certainement point par la raréfaction de l'air, ce n'est même point par lassitude. N'est-ce pas parce que nous avons eu à lever les jambes un grand nombre de fois de suite, par une loi toute différente de celle de la marche et bien autrement pénible à accomplir? En effet, tous les muscles de nos organes de locomotion, mis en action à la fois par un mouvement ascensionnel à la continuité duquel ils ne sont pas habituellement exercés, en éprouvent une fatigue qui nous contraint à de fréquents repos, qui s'accroît tant que nous avons à monter encore, mais qui cesse dès que nous sommes arrivés et qui ne revient pas pendant que nous faisons le même chemin pour redescendre. Eh bien, ce qui se passe dans l'homme montant un escalier, il l'éprouve à plus forte raison sur les flancs d'une montagne escarpée, parce qu'ici il y a combinaison d'une marche longue dans les voies tracées souvent à pic d'un exercice violent et inaccoutumé des forces musculaires et d'une grande raréfaction de l'air atmosphérique. Si l'on pouvait tourner le mont Blanc et atteindre sa cime par une pente insensible, comme on tourne le Saint Gothard ou le Simplon, il n'y aurait plus à faire le mouvement forcé des jambes, membres qui deviennent plus lourds à lever en proportion du raccourcissement de la colonne d'air, et l'on n'éprouverait plus, par conséquent, ce sentiment de malaise que l'on prend pour de la fatigue. (P. 335.)

Le célèbre voyageur allemand dont nous avons reproduit précédemment (voy. p. 49) la description complète du mal des montagnes dans la Cordillère des Andes, Tschudi[1], explique, comme de Humboldt et les frères Weber, la lassitude extrême des membres inférieurs qu'on éprouve en montant :

Comme la tête du fémur, d'après les recherches de Weber, est retenue dans sa cavité par la pression atmosphérique, il faut, lorsque celle-ci diminue, qu'une contraction musculaire continue vienne la remplacer. (T. II, p. 66.)

Il rapporte ensuite, mais sans avoir l'air d'y croire, l'explication adoptée par les Indiens sur les émanations métalliques :

Il y a des endroits où l'on sait que la Veta sévit plus fort qu'ailleurs, et ils sont parfois plus bas que d'autres où elle est beaucoup moins sensible, en telle sorte qu'elle ne paraît pas occasionnée seulement par l'air raréfié, mais encore par quelque influence climatérique inconnue. Ordinairement ces endroits son riches en métaux, d'où vient la croyance générale des Péruviens que ces effets sont dus à des émanations métalliques.

Le Dr Archibald Smith[2] ne se préoccupe pas, lui, de ces différen-

[1] *Loc. cit. : Peru, Reiseskizzen,* etc.; 1846.
[2] *Loc. cit. : Practical observations,* etc.; t. LVII, 1842.

ces; mais il donne sur les phénomènes de la Véta et sur leurs causes possibles de fort curieux renseignements :

Les habitants de la côte, lorsqu'ils gravissent la chaîne des Andes, sentent leur respiration oppressée là où les Indiens n'éprouvent pas cet inconvénient, en raison du développement beaucoup plus grand de leurs organes respiratoires. . . .

Le pouls s'accélère et les poumons agissent beaucoup plus vite qu'à l'état normal. Leur libre jeu est entravé cependant par l'accumulation du sang, et un considérable degré de congestion, provenant, à mon avis, d'un côté de la moindre pression atmosphérique, qui amène une expansion des fluides en circulation, et d'autre part de la résistance des capillaires cutanés et pulmonaires augmentés par le froid.

De là vient que les étrangers à ces climats sont très-sujets à des malaises d'estomac, de la dyspnée, de l'apoplexie ou d'autres hémorrhagies, quand ils traversent les passes des Cordillères..... Les chats qu'on élève à la limite des neiges, et qu'on nourrit bien, sont très-sujets à la mort subite..... J'ai appris qu'à Cerro de Pasco, un chien terrier tomba mort tout à coup, probablement par apoplexie, tandis qu'il sautait de joie en caressant son maître. (P. 356.)

Un voyageur anglais, Hill[1], qui fut assez malade en traversant les Andes, et qui y vit deux enfants frappés du *soroche* avec une telle intensité qu'ils « étaient comme sans vie dans les bras de leur père, » insiste sur l'influence des divers tempéraments, relativement à la gravité de leur maladie :

L'affection, sous sa forme la plus redoutable, est accompagnée de symptômes très-inquiétants et devient généralement mortelle ; sur le voyageur d'une constitution pléthorique, elle est ordinairement très-grave ; elle se caractérise alors par des vertiges, une faiblesse de la vue, de l'ouïe, et bien souvent par un écoulement de sang des yeux, du nez, des lèvres, de violentes douleurs de tête et des vomissements. Mais chez les voyageurs maigres, d'une complexion peu forte, elle occasionne plutôt des accès de faiblesse, accompagnés d'un crachement de sang. Chez les personnes qui jouissent d'une bonne santé, les vomissements constituent un des symptômes les plus fréquents, et ces derniers consistent, la plupart du temps, dans une lassitude, la difficulté de respirer, tels qu'ils se sont manifestés chez mes compagnons et chez moi. (P. 68.)

Arrivant aux causes des accidents, il reproduit, sans paraître lui attacher une véritable importance, l'opinion des habitants sur les émanations métalliques :

Cette affection a été observée comme étant plus fréquente dans les provinces où les métaux abondent ; aussi l'impression générale, parmi les habitants, est-elle qu'elle doit son apparition ou son exacerbation aux exhalaisons métalliques que l'on suppose saturer l'atmosphère de ces contrées. Cette opinion est basée incontestablement sur ce fait que l'affection attaque surtout les chercheurs de métaux, gens pour la plupart peu habitués à l'air des montagnes, et endurant le plus de fatigues.

[1] *Voyages au Pérou et à Mexico,* t. I. J'emprunte cette citation à Flemeing, traduction Ringuet; *loc. cit., De l'influence,* etc. — Périgueux, 1869.

On ne peut guère douter que, quelle que soit la forme sous laquelle elle se présente, son apparition ne soit due à une diminution de la pesanteur de l'air, dont tout le monde éprouve l'influence dans les localités très-élevées. (P. 69.)

Hill n'hésite pas à déclarer que les animaux peuvent s'acclimater, à peu près complétement, sur les hauts lieux :

Les effets de l'air raréfié ne se bornent pas à l'homme ; ils exercent une action égale, sinon plus forte, sur les autres animaux de la création. Les chevaux et les mulets des plaines ne peuvent pas parcourir la même distance sur les montagnes, et dans un temps donné, que dans la plaine ; ils ne sont pas susceptibles de porter sur la Sierra des fardeaux aussi lourds que dans les climats où ils ont l'habitude de vivre.

Toutefois, ces animaux transportés à des hauteurs considérables, et bien soignés, s'y acclimatent, dans la majorité des circonstances, au bout de quelques mois, et ils deviennent aptes à faire presque le même travail que les animaux nés dans ces régions élevées. (P. 69.)

Les physiologistes continuaient cependant, mais sans grand succès, à rechercher les causes de ces malaises signalés, expliqués ou niés par les voyageurs. L'un d'eux, que ses profondes connaissances en physique ont souvent mieux inspiré, M. Maissiat[1], reprenant une explication que nous avons déjà vu indiquer par Clissold, en 1822, fait jouer un rôle considérable aux gaz abdominaux, distendus par la pression diminuée :

Leur pression est provocatrice du diaphragme et régulatrice de la fréquence de ses contractions ; partant, la circulation se trouve liée à la production des gaz intestinaux. (P. 253.). . . . .

Il y aura accélération de la circulation et de la respiration, sang à la peau, si la pression extérieure à l'animal, enveloppante, vient à diminuer, et jusqu'à l'ivresse et à la mort, si elle diminue toujours ; la pression dans l'atmosphère abdominale croissant d'autant, relativement à ses effets, que celle extérieure diminue, et les gaz intestinaux prenant du volume, distendent tout, jusqu'à rupture, si la pression extérieure est très-rapidement supprimée. . . . .

La circulation et la respiration accélérées tendent à dépenser plus rapidement l'action abdominale, et ainsi à ramener l'équilibre, le calme régulier. (P. 254.)

Le Dr allemand Flechner[2] nous fait connaître une opinion tout à fait contraire à celle de Boussingault et de Humboldt sur la composition de l'air des hauts lieux ; il la combat, il est vrai, et se rattache à la dernière idée émise par de Saussure. Je cite d'après l'analyse du *Schmidt's Jahrbuch :*

[1] *Études de Physique animale.* — Paris, 1843.

[2] *Betrachtung der Gebirgsluft und der Lebensweise der Gebirgsbewohner in Bezug ihres Einflusses auf Blutbereitung und auf das Vorkommen gewisser Krankheitsformen.* — *Œsterr. Med. Jahrb.*, t. XXIII. — *Analyse in Schmidt's Jahrb.*, t. XXXIII, p. 298, 1842.

D'après l'opinion générale, l'air des montagnes est plus riche en oxygène, d'où résultent des maladies inflammatoires... Flechner a trouvé que cela n'est pas exact... Mais si, dans les lieux élevés, l'air est plus rare, la composition restant la même, l'oxygène pèsera moins : il procurera moins d'oxygène au sang. L'influence de la lumière solaire est nulle.

Tout le reste du travail est consacré à des considérations sur les maladies qui règnent dans les montagnes.

Le professeur lyonnais Brachet[1], dans le travail spécial qu'il consacra à notre sujet, commence par reproduire l'idée vulgaire de la diminution du poids supportée par le corps lorsque l'air se dilate :

Une colonne d'air qui ne fait plus monter le baromètre qu'à 13 pouces et demi doit exercer sur le corps et sur toutes les surfaces avec lesquelles il est en contact une pression infiniment moins grande, dont on peut comparer les effets à ceux de l'immense ventouse Junod, et qu'on pourrait, en conséquence, regarder comme une sorte de succion. Les capillaires, moins pressés, doivent donc réagir moins énergiquement sur le sang et sur les autres liquides qui les parcourent; ils doivent donc s'en laisser distendre et s'engorger par une sorte de stase. . .
La raréfaction de l'air explique bien la difficulté et la gêne de la respiration, mais elle n'explique pas l'anhélation et la lassitude extraordinaire qu'occasionne le moindre mouvement.

Pour expliquer cet élément nouveau, Brachet, qui vient de tomber dans une si étrange erreur physique, émet les idées les plus justes :

L'anhélation, dit-il, dépend du sang plus noir qui arrive aux poumons et qui ne trouve pas, dans l'air raréfié qui y pénètre, une quantité d'oxygène suffisante pour se revivifier assez promptement. La lassitude dépend de ce que le sang, ainsi moins bien hématosé, ne porte plus aux muscles l'incitation normale dont ils ont besoin pour se contracter.

Cette vue si simple, si nette, et ajoutons par avance, si vraie, ne termina cependant pas les controverses.

En effet, quelques mois après, un membre de l'Académie de médecine, Castel[2], s'occupant théoriquement de la question, s'explique à son propos dans les termes les plus obscurs; sans doute, pour lui, les phénomènes physiologiques observés sur les hautes montagnes sont dus à la diminution de la pression atmosphérique, mais, ajoute-t-il :

Non que cette pression soit, comme certains auteurs l'ont avancé, l'agent

[1] *Note sur les Causes de la lassitude et de l'anhélation dans les ascensions sur les montagnes les plus élevées.* — *Rev. Méd.*, 1844, t. III, p. 356-368.

[2] *Sur la Cause des phénomènes physiologiques que l'on trouve quand on s'élève à une certaine hauteur dans les montagnes.* — *Cpt. R. Ac. des Sc.*, t. XX, p. 1501 ; 1845.

immédiat du mouvement du sang dans les dernières ramifications artérielles et dans les veines, mais elle exerce une influence directe et incessante sur la contractilité, de laquelle le cours des liqueurs animales n'est jamais indépendant. La contractilité est d'autant plus en échec que la pression atmosphérique a subi un abaissement plus considérable.

Enfin, la même année, le célèbre physiologiste allemand Vierordt[1] fit un certain nombre d'expériences sur l'influence d'un air légèrement dilaté sur la respiration. Il ne donne aucun renseignement sur la manière dont il conduisait ses expériences, qui n'ont porté que sur les pressions comprises entre 340 et 330 lignes de Paris (767 et 744^{mm}).

Elles avaient pour but principal de rechercher si les variations dans la pression influent sur l'exhalation de l'acide carbonique ; leurs résultats sont fort peu clairs, malgré le luxe des *tabelles* dans lesquelles ils sont exprimés et la richesse de décimales à origine douteuse qui accompagnent chaque nombre. Toutes conclusions basées sur ces expériences me paraîtraient singulièrement aventurées. Du reste, les faibles oscillations barométriques dans les limites desquelles elles sont contenues leur enlèvent pour nous tout intérêt.

C'est encore à la même époque que parut le mémoire de M. Lepileur[2], dont nous avons reproduit en son lieu, et avec maints détails (voy. p. 106-113), l'intéressant récit. Ce travail n'est pas seulement riche en observations exactes et sagaces, il contient encore des vues théoriques dont l'importance mérite toute notre attention. M. Lepileur fait d'abord une certaine part aux explications de de Saussure, et à celles de Brachet ; mais elles ne lui suffisent pas :

Les phénomènes relatifs à l'hématose ne nous semblent pas seuls à déterminer l'anhélation et la lassitude sur les hautes montagnes. . . . .

On se fait graduellement à l'air raréfié, au point de n'en plus ressentir l'influence. Si elle tenait seulement à l'excitation plus ou moins complète des muscles par un sang plus ou moins artériel, cette fatigue serait-elle accompagnée des douleurs de la courbature, et tendrait-elle à s'effacer ainsi par l'habitude en si peu de temps ?

Nous serions tentés de considérer cette fatigue douloureuse comme résultant principalement de la congestion sanguine qui a lieu dans les muscles pendant leur action, en proportion de leurs efforts, et l'ensemble des phénomènes dus à la raréfaction de l'air nous semble s'accorder assez avec cette idée. Plus la circulation est active, plus les organes sont facilement congestionnés. Or, le pouls, sans perdre de force, augmente notablement de vitesse quand on s'élève dans les monta-

[1] *Physiologie des Athmens.* — Karlsruhe, 1845, p 84-89.
[2] *Loc. cit., Mém. sur les phén. physiol.* ; 1845.

gnes, et la disposition aux congestions est surabondamment démontrée par les faits que nous avons cités.... Quand on reste immobile, l'équilibre se maintient.... mais dès qu'on veut agir, les membres contractés deviennent le siége d'une congestion d'autant plus rapide que la vitesse de la circulation augmente encore. (P. 62-64 du tirage à part.)

A côté de la congestion sanguine dans les muscles, qui explique selon lui la lassitude, M. Lepileur place l'effort, qui expliquerait les maux de cœur, les défaillances imminentes, la céphalalgie :

Dans l'effort, il y a stase du sang dans les capillaires et congestion dans le cerveau, les poumons et les muscles. Lorsqu'on fait une suite d'efforts presque non interrompus,... lorsqu'on monte un escalier en courant,... la vue se trouble, le vertige survient, une fatigue douloureuse se fait sentir dans les membres, et les forces musculaires font défaut. Mais, si l'on s'arrête pour reprendre haleine, avant que les effets de la congestion cérébrale et pulmonaire soient arrivés à ce point, le sang reflue alors vers le cœur, le visage pâlit, et une sensation bien marquée de défaillance se manifeste; quelquefois même la syncope survient quand on n'a pas la précaution de se mettre immédiatement dans la position horizontale.....

Si maintenant on considère les phénomènes observés sur l'organisme à de grandes hauteurs, on retrouve exactement la même marche et les mêmes signes. Seulement la raréfaction de l'air, en rendant la respiration plus fréquente et l'anhélation plus rapide, hâte nécessairement le reste des effets ordinaires de l'effort. . . . .

Les petites hémorrhagies des gencives, l'imminence de l'hémoptysie, l'épistaxis, s'expliquent par la congestion, suite de l'effort. . . . .

Quant au malaise de l'estomac, ne faut-il pas considérer comme contribuant beaucoup à ce phénomène et à ceux qui lui font cortége la dilatation graduelle des gaz intestinaux sous une pression toujours moindre de l'atmosphère?... Cependant nous n'avons pas remarqué d'augmentation dans le volume de l'abdomen. (P. 65–68.)

On voit que pour M. Lepileur tout s'explique par des congestions des muscles et des centres nerveux, dues aux efforts et augmentées par l'anhélation, sur la cause de laquelle il ne dit absolument rien.

Il paraissait bien difficile, après une observation si complète et si détaillée, de nier encore l'influence fâcheuse des hauteurs dans certaines circonstances. Aussi, à la suite du récit de son ascension au Wetterhorn (3707^{m}), le 31 août 1845, A. Vogt[1] proteste-t-il contre des négations au moins imprudentes ; il cherche, du reste, à les expliquer, mais ne se montre pas très-heureux dans cette tentative :

On voit, dit-il, dans les récits des voyageurs qui ont grimpé de hautes monta-

[1] *Allgemeine Zeitung Miszellen : Ersteigung des Wetterhorns,* reproduit *in extenso* dans *Dolfus-Ausset, loc. cit., Matériaux,* etc., t. IV, p. 417-429.

gnes, des contradictions singulières ; les uns accusent des malaises fréquents et plus ou moins graves, les autres les nient complétement. Trois facteurs me paraissent agir sur l'organisme humain dans les grandes hauteurs :

1° La diminution de poids de l'atmosphère et la dilatation consécutive de l'air ; 2° la sécheresse de l'air, et 3° la lumière réfléchie sur les champs de neige. .

Martins, Barry, Agassiz, Desor, Escher von der Linth, etc., qui n'ont éprouvé aucun phénomène, accusent l'imagination de leurs prédécesseurs. Je puis les contredire sur un point. Dans la nuit que nous avons passée à l'Aaresattel, je fus étonné de la rapidité avec laquelle je respirais ; je faisais deux fois plus de respirations que dans la plaine, sans éprouver le moindre malaise.

Il est naturel que dans une atmosphère raréfiée on respire plus d'air, afin d'amener dans le sang la même quantité d'oxygène, puisque dans un volume donné d'air il y en a moins en poids que dans la plaine. Si beaucoup d'ascensionnistes n'ont pas remarqué ce phénomène, cela tient à ce que la pression atmosphérique diminuée aide beaucoup l'ampliation de la cavité thoracique, et par là facilite la respiration.

Le Père Huc[1], lui, n'est pas un sceptique, tant s'en faut. Sa crédulité même, bien connue, enlève beaucoup d'autorité à ses récits. Rien de curieux comme cette naïveté qui emprunte fort légèrement le langage et les secours de la science. Nous le voyons, en effet, adopter absolument l'idée d'émanations ou de vapeurs pestilentielles ; mais, plus hardi que ses prédécesseurs, il en précise même la nature, et les considère comme étant formées d'acide carbonique :

La montagne Bourhan-Bota présente cette particularité assez remarquable, c'est que le gaz délétère ne se trouve que vers la partie qui regarde l'est et le nord ; de l'autre côté, l'air est pur et facilement respirable ; il paraît que ces vapeurs pestilentielles ne sont autre chose que du gaz acide carbonique. Les gens attachés à l'ambassade nous dirent que, lorsqu'il faisait du vent, les vapeurs se faisaient à peine sentir, mais qu'elles étaient très-dangereuses lorsque le temps était calme et serein. Le gaz acide carbonique étant, comme on sait, plus pesant que l'air atmosphérique, doit se condenser à la surface du sol et y demeurer fixé jusqu'à ce qu'une grande agitation de l'air vienne le mettre en mouvement, le disséminer dans l'atmosphère et neutraliser ses effets. Quand nous franchîmes le Bourhan-Bota, le temps était assez calme. Nous remarquâmes que lorsque nous nous couchions par terre, nous respirions avec beaucoup plus de difficulté ; si, au contraire, nous montions à cheval, l'influence du gaz se faisait à peine sentir. La présence de l'acide carbonique était cause qu'il était très-difficile d'allumer le feu, les *argals* brûlaient sans flamme et en répandant beaucoup de fumée. Maintenant, dire de quelle manière se formait ce gaz, d'où il venait, c'est ce qui nous est impossible. . . . .

Il tomba dans la nuit une épouvantable quantité de neige ; ceux qui, la veille, n'avaient pas osé continuer leur route, vinrent nous rejoindre dans la matinée ; ils nous annoncèrent qu'ils avaient achevé l'ascension de la montagne avec assez de facilité, parce que la neige avait fait disparaître les vapeurs. (P. 265.)

[1] *Loc. cit. : Souvenirs*, etc., t. II, 1850

Ces régions, si rarement explorées, furent traversées, en 1873, par le capitaine Przevalski[1]. Il repousse complétement l'explication que nous venons de rapporter :

La grande élévation du Thibet septentrional produit une singulière difficulté de respirer, surtout si l'on marche vite; puis viennent des vertiges, des tremblements de jambes et jusqu'à des vomissements. Le combustible du pays (argal) brûle avec peine, à cause de la raréfaction de l'air et de la rareté de l'oxygène.

Le missionnaire Huc explique les mêmes phénomènes, qu'il a observés sur la montagne de Burchan-buda, par des émanations de gaz carbonique; mais c'est une erreur, car il y demeure pendant l'été beaucoup de Mongols du Tsaidam avec leurs bestiaux, ce qui ne serait point possible s'il s'y dégageait des gaz asphyxiants..... Le Père Huc est peu digne de foi quand il parle des gaz délétères de Burchanbuda. (P. 174.)

Un médecin lyonnais, le Dr Pravaz[2], avait fondé, depuis plusieurs années, un établissement où il employait pour le traitement de diverses maladies le séjour dans l'air comprimé. Le livre qu'il consacra en 1850 à l'exposition des faits qu'il avait observés contient, dans sa première partie, de remarquables réflexions sur les causes diverses du mal des montagnes :

1° La respiration est mécaniquement restreinte dans son étendue par le défaut d'élasticité de l'atmosphère, qui presse l'intérieur des poumons et produit *seule* leur développement quand le thorax se dilate par l'effort des muscles inspirateurs.

2° Cette fonction est insuffisante pour l'hématose, parce que l'oxygène, ou le principe vivifiant du sang, est en trop faible quantité absolue dans le volume d'air qu'introduit chaque mouvement d'inspiration, outre que le défaut de pression rend la dissolution de ce gaz dans le sang moins abondante.

3° La circulation artérielle est accélérée par suite de la précipitation des mouvements respiratoires que détermine l'instinct de la conservation, tandis que la circulation capillaire se ralentit, parce que l'appel du sang veineux dans les cavités droites du cœur est devenu moins énergique par la diminution de la constriction exercée sur la périphérie des organes. (P. 57.)

Plus loin, insistant sur ces congestions des muqueuses qui ont tant frappé les observateurs, il les explique en disant :

L'un des moteurs de la circulation veineuse, et par suite de la circulation capillaire, savoir, la pression atmosphérique, décroît à mesure que l'on s'élève audessus du niveau des mers. Plus l'altitude sera grande, moins l'appel du sang dans les cavités droites du cœur aura d'activité, et plus ce liquide aura de tendance à engorger les parties où l'aspiration se fait ordinairement sentir avec le plus d'efficacité. On peut comparer alors l'action du viscère à celle d'une pompe

[1] *Esplorazioni di N.-M. Przevalski nella Mongolia orientale e sulle falde N.-E. del Tibet* (1871-1873). — *Cosmos* di Guido Cora, t. II, p. 14-19, 164-175 et 261-277. — Torino, 1874.

[2] *Essai sur l'Emploi de l'air comprimé.* — Paris-Lyon, 1850.

fonctionnant dans un milieu où l'air serait très-raréfié, et qui ne pourrait aller puiser l'eau qu'à une profondeur beaucoup moindre que sous la pression ordinaire de l'atmosphère. . . . .

De là la tendance aux hémorrhagies et à l'apoplexie sur les hautes montagnes.

Le mal des montagnes présente un autre symptôme, que personne n'a cherché à expliquer physiologiquement. Il est produit manifestement par un embarras de la circulation dans le système de la veine porte; il est caractérisé, en effet, comme les engorgements du foie et des viscères abdominaux, par des vomissements, des crampes d'estomac et des douleurs intestinales. (P. 82.)

Quant aux différences présentées par les divers individus relativement à la hauteur où les frappe le mal des montagnes, Pravas en trouve la raison dans l'inégalité de « la résistance de leurs tissus et dans la contractilité vitale de leurs poumons. » La soudaineté des accidents, soudaineté que notre auteur exagère, est due à ce que, « dans un moment presque indivisible, la pression atmosphérique devient inférieure à la réaction du poumon, et cesse de pouvoir lutter avec avantage contre elle.... La diminution de la quantité d'oxygène contenue dans l'air respiré ne suffirait pas à expliquer ce fait, car cette diminution.... ne pourrait amener que graduellement la dyspnée ». (P. 76.)

Quoi qu'il en soit de cette dernière restriction, nous avons vu accepter jusqu'ici sans conteste l'explication avancée en dernier lieu par de Saussure et tendant à attribuer, au moins pour une forte part, les malaises de la dépression à l'insuffisante quantité d'oxygène que les actes respiratoires introduisent dans les poumons. Mais en 1851, un ingénieur qui s'occupait beaucoup des cloches à plongeur, Payerne[1], éleva contre cette hypothèse une objection dont nous aurons plus tard à rechercher la valeur :

Sur les cimes les plus élevées auxquelles on soit parvenu, la pression égale au moins 32^{c} de mercure. L'air y renferme encore 125^{gr} d'oxygène par mètre cube, soit 100^{gr} par 800^{l} qu'un homme respire par heure. Or, des expériences, dont on ne saurait suspecter l'exactitude, ont récemment démontré qu'un homme au repos convertit seulement 50^{gr} d'oxyg. en CO^2. En supposant qu'au travail il en convertisse 5 et même 10 gr. de plus, il sera loin d'en manquer dans un lieu où le baromètre accuse 32 cent. . . . .

La lassitude et l'anhélation dans les lieux élevés ne me paraissent donc pas provenir d'une insuffisance d'oxygène, mais bien de la rupture de l'équilibre entre la tension des fluides contenus dans nos organes et celle de l'air ambiant, n'importe en quel sens la rupture s'opère.

[1] *Observations tendant à démontrer que, dans les ascensions sur les hautes montagnes, la lassitude et l'anhélation éprouvées par la plupart des explorateurs n'ont pas pour cause une insuffisance d'oxygène dans l'air respiré.* — *Cpt. R. Acad. des Sc.*, t. XXXIII, p. 198; 1851.

Les auteurs qui suivirent Payerne ne parurent pas avoir connaissance de ses objections. Marchal de Calvi[1], entre autres, reproduit purement et simplement l'ancienne explication; c'est ce que montre l'extrait de son travail, publié par les Comptes rendus, extrait que nous reproduisons en entier :

L'auteur croit pouvoir conclure des expériences rapportées dans cette Note que les variations de pression atmosphérique sont loin d'exercer l'influence qu'on leur suppose. Suivant lui, l'erreur vient de ce que dans la plupart des cas que l'on a considérés, en même temps qu'il y a diminution de pression à la surface des corps, il y a raréfaction de l'air qui pénètre dans nos poumons, et par suite diminution de la quantité d'oxygène nécessaire pour l'accomplissement normal de l'hématose.

En 1853, un médecin anglais, Speer[2], publia un travail spécial sur la nature et les causes du mal des montagnes. Il commence par raconter que lui-même, dans le massif du mont Blanc, arrivé à 9000 pieds, commença à éprouver les symptômes suivants :

Plénitude de la tête, battements des carotides, palpitations de cœur, dégoût de la nourriture. A 10 000 pieds, il ressentit une constriction de la poitrine, et peu après le goût du sang dans la bouche, ce qui était causé par une légère exsudation des gencives.

Il passe alors en revue les diverses explications proposées, en insistant sur celle de Brachet, qu'il trouve « trop exclusive. » Pour lui, la grande fatigue des muscles a pour cause « la congestion sanguine qui suit leurs contractions répétées, » et quant aux autres phénomènes du mal des montagnes, ils sont dus pour une forte part à « l'irrégularité de la circulation, avec congestion dans le crâne et les viscères abdominaux. »

Les conclusions suivantes indiquent clairement la manière de penser de l'auteur :

Le mal des montagnes est caractérisé par les symptômes suivants, dont la réunion du reste ne s'observe que rarement, sinon jamais, chez la même personne : vertige, mal de tête, somnolence, dyspnée, constriction de la poitrine, palpitations, tendances à la syncope, suintement du sang par les surfaces muqueuses, augmentation de rapidité du pouls, anorexie, nausées et vomissements, soif, langue fébrile, douleurs musculaires, sensation de faiblesse extrême dans les membres inférieurs, prostration générale des forces.

Ces symptômes doivent être rapportés à trois causes : congestion graduellement

[1] *Note sur les Effets de la diminution de la pression atmosphérique sur les animaux.* — *Cpt. R. Acad. des Sc.*, t. XXXVII, p. 863; 1853.

[2] *On the Nature and Causes of the physiological phenomena comprised in the term « Mountain Sickness » more especially as experienced among the Higher Alps.* — Assoc. *Med. Journ.*, 1853, p. 49 et 80.

croissante des portions profondes de l'appareil circulatoire; augmentation de la vénosité du sang; perte d'équilibre entre la pression de l'air extérieur et celle des gaz existant dans l'intestin.

Ces causes déterminantes du mal des montagnes sont elles-mêmes le résultat du changement considérable et rapide dans la pression et la température de l'atmosphère.

L'année suivante, le Dr Conrad Meyer-Ahrens[1], médecin à Zurich, consacra à l'étude des accidents de la décompression un long travail bien autrement important que celui de Speer.

Ce mémoire se compose de deux parties; dans la 1re (p. 1-99) sont rapportés avec détails les récits d'un grand nombre de voyageurs; la seconde résume la symptomatologie (p. 99-123) et indique l'étiologie (p. 123-136), la prophylaxie et le traitement (p. 136-139) du *mal des montagnes*.

Nous avons, dans les chapitres précédents, reproduit tous les faits cités par Meyer-Ahrens et bien d'autres encore; cette partie de son travail ne contenant, du reste, aucune observation personnelle, je n'en dirai rien. Mais j'extrais de celle qui est consacrée à la symptomatologie un tableau résumé et fort bien fait des troubles dont ont souffert, à des degrés divers, les voyageurs en montagnes :

Les principaux symptômes ou du moins ceux qui surviennent le plus souvent sont chez l'homme : malaise, dégoût de la nourriture, surtout dégoût du vin (on a cependant parfois remarqué le contraire), soif intense (surtout pour l'eau, qui désaltère le mieux), nausées, vomissements; respiration accélérée, haletante; dyspnée, accélération du pouls, battements dans les grosses artères, dans les tempes; palpitations violentes, oppression, anxiété, asphyxie; vertiges, céphalalgie, tendance à la syncope; besoin invincible de sommeil, sommeil non réparateur, mais troublé par l'angoisse; enfin fatigue musculaire étonnante et tout à fait étrange. Ces symptômes ne se manifestent pas toujours dans leur ensemble..... On en observe encore d'autres, bien que plus rarement, comme les hémorrhagies pulmonaires, rénales, intestinales (aussi chez les animaux); les vomissements sanguinolents; la sortie du sang par les muqueuses des lèvres et la peau (due simplement à la dessiccation de ces membranes), l'émoussement des sensations et de l'intelligence, l'impatience, l'irascibilité,.... enfin des bourdonnements d'oreilles. (Pages 100-101.)

Mais le chapitre le plus intéressant pour nous est celui de l'étiologie. J'en traduis ci-après les principaux passages :

Tout ce que nous venons de dire sur l'étiologie du mal des montagnes, montre : 1° qu'il apparaît à des altitudes plus ou moins grandes; 2° que les conditions météorologiques, les dispositions personnelles momentanées ou générales, la rapidité

[1] *Die Bergkrankheit, oder der Einfluss des Ersteigens grosser Höhen auf den thierischen Organismus.* — Leipzig, 1854; in-8°, 140 p.

de la locomotion, font varier la hauteur à laquelle on est saisi, la gravité et la multiplicité des symptômes.

En voyant l'apparition du mal des montagnes correspondre à des élévations plus ou moins importantes, on se demande quelles circonstances dépendantes de l'altitude sont capables de déterminer les phénomènes qui le constituent. Dans mon opinion, le rôle capital appartient à la diminution de la quantité absolue d'oxygène dans l'air raréfié, à la rapidité de l'évaporation, à l'action intense de la lumière directe ou réfléchie par la neige, tandis que l'action directe de la diminution de pression doit être placée au second rang. Je trouve les causes prochaines du mal des montagnes dans les modifications qu'apportent à la composition et à la formation du sang la diminution de l'oxygène et l'évaporation exagérée, altérations auxquelles s'en ajoutent d'autres dues à l'action de la lumière sur les fonctions cérébrales, action qui retentit sur la préparation du liquide sanguin.

Ces suppositions permettent — si l'on tient compte en outre des dispositions individuelles — de comprendre tous les phénomènes du mal des montagnes, sans avoir besoin d'invoquer l'action directe de la diminution de pesanteur de l'air. Ainsi s'expliquent l'accélération des mouvements respiratoires et de la circulation, les congestions, les hémorrhagies, les troubles fonctionnels du cerveau et la fatigue extraordinaire dont se plaignent presque tous les voyageurs. On voit aussi pourquoi le mal des montagnes n'atteint pas seulement les voyageurs à pied, mais aussi les cavaliers; pourquoi les premiers en sont bien plus énergiquement frappés (deux fois plus, selon Tschudi); pourquoi les efforts l'exagèrent; pourquoi il se calme quand le voyageur suspend pendant un instant sa marche, pour reparaître aussitôt qu'il se remet en mouvement; pourquoi, cependant, de même que les cavaliers eux-mêmes en éprouvent les symptômes fâcheux, de même, aux très-grandes hauteurs, le repos n'en exempte pas complétement les voyageurs (de Saussure, A. Vogt); pourquoi souvent aussi la marche à plat, sur les grandes hauteurs, est accompagnée de malaises qui augmentent quand on marche plus vite ou quand on commence à grimper; pourquoi les aéronautes ne sont pas exempts des troubles de la respiration et de la circulation; pourquoi on conseille aux malades atteints du *mal de la Puna* de se tenir assis et tranquilles dans des chambres chaudes et bien closes, etc., etc. (Pages 131-133). . . . .

D'autres phénomènes peuvent être en partie rapportés à l'action immédiate de la pression diminuée, comme, par exemple, la singulière sensation de légèreté dont parlent beaucoup de voyageurs, les battements violents du cœur, les dégoûts, les nausées, les vomissements, les oppressions. En effet, la moindre pression de l'air, en diminuant les résistances, facilite la marche rapide, les mouvements respiratoires et l'action du cœur, en même temps qu'elle tend à augmenter le volume des gaz contenus dans le canal intestinal; en sorte que la distension de l'estomac, le refoulement en haut du diaphragme, peuvent amener les nausées et les oppressions. Mais ces phénomènes d'action directe doivent être, comme je l'ai déjà dit, relégués au second rang. (P. 134.) . . . .

On sait, d'après les expériences des Weber, que la lassitude remarquable des voyageurs en montagne est due à une action directe de la pression atmosphérique diminuée; mais il faut comprendre que non-seulement les gros muscles, ceux qui font mouvoir les gros os et les retiennent dans leurs articulations, se fatiguent, mais qu'il en est de même des petits muscles, comme ceux de la langue et du larynx (Parrot et Hamel); phénomène qui doit être général et aller en augmentant, comme le fait remarquer A. Vogt, s'il est la conséquence de la diminution de pression, et c'est ce qui arrive en effet. Il faut ici encore faire la part des individualités. (P. 135.)

Ainsi, pour Meyer-Ahrens, les causes prochaines du mal des montagnes sont en premier lieu la diminution dans la quantité absolue d'oxygène de l'air raréfié; puis viennent la rapidité de l'évaporation, l'action intense de la lumière, l'augmentation de volume des gaz intestinaux, la moindre solidité dans l'articulation coxo-fémorale.

Le Dr Lombard[1], qui écrivait presque en même temps, dans la Bibliothèque de Genève, des articles remarquables qu'il publia bientôt après réunis en brochure, revient purement et simplement aux deux anciennes explications de de Saussure : diminution du poids supporté, diminution de la quantité d'oxygène contenue dans un même volume d'air; puis apparaît encore la théorie des Weber :

Il y a dans les climats de montagne un élément très-important; c'est une pression atmosphérique moindre et par conséquent un air moins dense, ainsi qu'une diminution dans la quantité d'oxygène qui est nécessaire pour entretenir la vie par le moyen de la respiration. C'est à ces deux dernières circonstances que sont dus en grande partie les phénomènes observés sur les hautes montagnes, et sur lesquels je désire fixer pour quelques instants l'attention de mes lecteurs.

Si nous interrogeons la physique, nous verrons que le poids total de l'atmosphère représente autant de fois *cent trois kilogrammes* qu'il y a de décimètres carrés sur la surface de notre corps, en sorte que, suivant la taille des diverses personnes, le poids total supporté par nos organes variera entre *quinze* et *vingt mille kilogrammes*. Que l'on quitte, dès lors, un pays plus ou moins rapproché du niveau des mers, pour atteindre une localité plus élevée, notre corps supportera une pression d'autant moins forte que la hauteur sera plus grande. L'on peut comprendre quelle perturbation doit survenir dans nos organes, lorsque le poids énorme auquel ils sont habituellement soumis sera diminué d'*un sixième*, d'*un quart* et même d'*un tiers*, comme on l'observe sur le Righi, le Saint-Bernard ou le sommet du mont Blanc. Et si l'on ajoute à cette diminution de pression le changement non moins important qui survient dans la densité de l'air, et par conséquent dans la quantité d'oxygène, l'on ne sera pas embarrassé pour expliquer les divers troubles qui surviennent dans la respiration, la circulation, la locomotion et les fonctions digestives chez ceux qui gravissent les hautes cimes de nos Alpes ou qui en font, pour un temps, leur habitation.

Quelle est, dans l'apparition des symptômes dont nous parlons, la part d'une faible pression, et celle d'une quantité insuffisante d'oxygène? C'est ce qu'il est difficile de dire; la respiration et la circulation devant être également modifiées sous ces deux influences et devant réagir sur les forces musculaires; d'un autre côté, des recherches récentes ayant établi que c'est grâce à la pression atmosphérique que la tête du fémur se maintient dans la cavité cotyloïde, il est évident qu'une diminution dans le poids de l'air doit rendre les mouvements plus difficiles; en sorte que nous arrivons à la conclusion que les phénomènes produits sur les corps vivants, transportés à de grandes hauteurs, sont le résultat des deux faits météorologiques dont nous venons de parler : une moindre pression et une plus faible quantité d'oxygène. (P. 273.)

[1] *Des Climats de montagne considérés au point de vue médical. — Arch. des Sc. phys. et nat. de Genève*, t. XXXII, p. 265-305; 1856.

Mais peu après un médecin français très-compétent dans les questions de physique, M. Giraud-Teulon, réduisait à néant l'erreur fondamentale sur laquelle M. Lombard venait après tant d'autres de s'appuyer.

Il y avait déjà longtemps que Valentin[1], calculant la valeur des changements que présente sur la surface du corps humain le poids de l'atmosphère à diverses hauteurs au-dessus du niveau de la mer, et admettant que les matières organiques sont compressibles au même degré que l'eau, avait montré que :

Pour une atmosphère de pression surajoutée, la diminution de volume serait d'environ 0,2 pouce cubique, c'est-à-dire 1/22522 du volume total du corps.
On voit donc que le volume d'un homme qui se trouverait au sommet du mont Blanc et qui se laisserait glisser jusqu'en bas se contracterait seulement de sept cent millièmes. (T. I, p. 84.)

Cependant, cette démonstration nette du peu d'importance des changements de pression considérés au point de vue mécanique n'avait pas empêché un auteur très-recommandable, Heusinger[2], de reproduire, avec maints détails, l'explication admise sans grande réflexion par tant de voyageurs :

La pression de l'atmosphère sur le corps diminue..... Au niveau de la mer, on calcule qu'un homme adulte supporte une pression qui équivaut à 33 893 liv.; s'il s'élève à la hauteur du mont Blanc, la pression ne sera plus que de 19 334 liv..... Les os ne seront plus retenus dans les articulations avec la même force, les muscles doivent exercer une plus grande force, la fatigue doit donc être plus grande;.... le sang est retenu avec moins de force dans les vaisseaux, il aura la tendance à transsuder, et à former des hémorrhagies, où les parois sont assez faibles, et le sang s'accumulera dans les organes moins contractibles, où les vaisseaux capillaires se laissent plus aisément dilater, par exemple dans les membranes muqueuses, dans les poumons, le cerveau, il y aura congestion dans ces organes; le cœur, qui a moins d'obstacles à surmonter, se contractera plus souvent et le pouls deviendra plus fréquent. (T. I, p. 252.)

Il faut faire remarquer qu'à cette cause erronée il en ajoute nombre d'autres, plus ou moins justifiées, suivant les errements de la méthode éclectique. C'est d'abord l'évaporation due à la diminution de pression et à la siccité, la température plus basse, l'action des rayons du soleil, plus forte, qui « pénètre plus profondément le corps, et irrite les yeux, le cerveau et la moelle épinière,» puis l'électricité « probablement plus forte et moins souvent négative, » et enfin la moindre quantité d'oxygène que contient l'air raréfié, ce

[1] *Lehrbuch der Physiologie des Menschen.* — Braunschweig, 1844.
[2] *Recherches de Pathologie comparée.* — Cassel, 1853.

qui « contre-balance la fréquence de la respiration et de la circulation. »

Pour en revenir à l'explication mécanique, elle fut absolument réduite à néant par le travail de M. Giraud-Teulon, et il est permis de s'étonner qu'après une aussi rigoureuse exécution, on l'ait encore vue reparaître dans les livres et jusque dans les académies.

M. Giraud-Teulon[1] commence par poser deux principes trop oubliés par les médecins et les physiologistes, avant et depuis lui :

1° Toutes les pressions exercées par l'atmosphère ambiante sur le corps humain se combattent naturellement et se détruisent d'une manière parfaite.

2° L'effort exercé par le poids de l'atmosphère est du reste contre-balancé par l'incompressibilité des liquides dont tous nos organes sont imbibés, et par la tension des gaz et des vapeurs dans les cavités et les interstices splanchniques. La peau se trouve ainsi placée entre deux forces qui luttent en sens contraire et se font équilibre.

Puis il se demande :

D'où vient la différence (différence sur la nature de laquelle il ne s'explique malheureusement pas) qu'on observe entre le cadavre et le vivant dans la réaction de l'un et de l'autre contre la pression extérieure ? Faut-il l'attribuer seulement à celle qui existe dans les températures? Mais la température du corps humain n'est pas assez élevée pour donner aux vapeurs des liquides qu'il renferme une tension supérieure à 3 ou 4 centimètres de mercure. Est-ce aux gaz dissous dans ces liquides ? Mais il résulte des expériences de Magnus que si leur quantité atteint, pour quelques-uns d'entre eux seulement, des proportions qui suffisent à porter la tension des liquides qui les contiennent à un chiffre qui égalerait ou surpasserait la pression atmosphérique, il faudrait que leur action et leur réaction, vis-à-vis de ce liquide, fussent purement physiques. Or Magnus a fait voir, au contraire, que les gaz dissous dans le sang y sont retenus par de tout autres forces que la simple pression. Car il ne suffit ni d'élever la température, ni d'abaisser la tension extérieure, même jusqu'à quelques centimètres seulement, pour chasser les gaz dissous dans les liquides de l'économie ; il faut la présence d'autres gaz dont le sang est plus avide que des gaz normaux qu'il renferme. Où donc trouver la force intérieure qui fait équilibre à la pression ambiante ? Dans l'étude des lois de la circulation et de la pression dans les grands systèmes vasculaires.

L'auteur montre alors que, chez l'animal vivant, les tissus sont toujours, à cause de la circulation sanguine, à un état de tension qu'il estime valoir de 8 à 15 millimètres de mercure. Cette tension étant constante, il en résulte, dit-il :

Que le système organique de l'être animé n'est jamais en péril par une variation même considérable, mais graduelle, de la pression extérieure, et que la circulation doit continuer à s'opérer comme avant la variation. Ce qui donne l'expli-

[1] *Mémoire sur la pression atmosphérique dans ses rapports avec l'organisme vivant.* — *Cpt. R. Acad. des Sc.*, t. XLIV, p. 233; 1857.

cation des faits reconnus par M. Poiseuille et par M. Tingu, sur la continuation des fonctions vitales, malgré une augmentation considérable de la pression ambiante.

L'influence redoutable des gaz du sang, rendus libres par la diminution de pression, hypothèse qu'avait émise le premier Robert Boyle, et que M. Giraud-Teulon a, comme nous venons de le voir, énergiquement combattue, trouva un défenseur autorisé dans Félix Hoppe[1]. Le travail de ce chimiste est d'ordre purement expérimental; il a été entrepris dans le but d'expliquer les accidents qui frappent les ouvriers dans les travaux sous l'air comprimé; et, comme tout le monde a remarqué que ces accidents surviennent au moment de la décompression, Hoppe espérait en trouver la cause par l'étude de la mort dans l'air raréfié. Voici d'abord le résumé de ses expériences :

Une ratte fut soumise à une rapide diminution de pression. Vers 50^{mm} de mercure, survinrent les convulsions,... et la mort entre 40 et 50^{mm}. A l'ouverture du thorax,... on voyait à travers les parois de la veine cave, de l'oreillette et du ventricule droits, une notable quantité de gaz qu'on put faire sortir par une ponction. . . . .

Chez un chat.... qui mourut vers 40^{mm},... je trouvai environ 0,3 centimètres cubes d'air dans la veine cave et les cavités droites du cœur; il y avait quelques bulles d'air dans l'oreillette gauche. Les veines et le cœur droit étaient pleins de sang, le cœur gauche presque vide; le sang était complétement liquide, les artères se contractaient spontanément, les ventricules seulement sous l'excitation; les poumons étaient vides d'air et sains; il n'y avait pas de rupture de vaisseaux; le cerveau était normal. . . . .

Deux hirondelles.... sont mortes entre 125 et 120^{mm} de pression; j'ai trouvé dans leur sang quelques petites bulles d'air. . . . .

Chez les oiseaux comme chez les mammifères, le sang du cœur gauche était rouge clair et par suite contenait encore de l'oxygène. . . . .

Deux grenouilles amenées jusqu'à complet affaissement, furent ouvertes; on n'y trouva pas de gaz au cœur.... Un orvet amené à 22^{mm} de pression, se gonfla et demeura sans mouvement; puis, quelques minutes après être revenu à la pression normale, il parut aussi bien qu'auparavant.

En résumé :

1° Les oiseaux meurent bien avant le *point d'effervescence* de leur sang; les mammifères meurent à une pression à peine supérieure à ce point; les amphibies ne meurent pas même au-dessous de ce point;

2° Chez les animaux à sang chaud, il se dégage du gaz dans l'intérieur des vaisseaux par une rapide diminution de pression. Il n'en est pas de même chez les amphibies.

[1] *Ueber den Einfluss, welchen der Wechsel des Luftdruckes auf das Blut ausübt. Müller's Archiv.;* 1857, p. 63-73.

F. Hoppe se demande alors s'il faut attribuer la mort à ce dégagement des gaz du sang, ou bien à la pauvreté du sang en oxygène. Il est très-difficile, dit-il, de répondre à cette question : « Car, on trouve à l'autopsie le sang artériel encore rouge-clair, et très-différent du sang des asphyxiés » (p. 67); observation juste, mais due à une erreur expérimentale que nous démontrerons plus tard. En tout cas, la mort subite lui paraît certainement due à l'obstruction du vaisseau par les gaz devenus libres :

Le cœur exerce sur son contenu une pression de 100^{mm}; si l'air dans les gros troncs veineux n'a qu'une pression de 50^{mm}, il devra être comprimé un tiers de son volume pour entrer dans les artères; de là un grand ralentissement dans la circulation. Si ce ralentissement, joint à la faible quantité d'oxygène contenu dans le sang, et à l'inégale puissance du cœur droit et du cœur gauche, peut amener la mort, ce ne peut être qu'une mort instantanée. Celle-ci ne peut être causée que par l'obstruction des capillaires des poumons par les bulles d'air, d'où l'arrêt de la circulation.

Il ne s'en tient pas à cette démonstration théorique, et essaye de prouver, par voie expérimentale, que ce n'est pas la privation d'oxygène, mais la diminution même de la pression, qui tue les animaux placés sous la cloche de la machine pneumatique. Pour y arriver, il emploie une méthode que, de mon côté, bien avant de connaître le travail de Hoppe, l'un des derniers que j'aie rencontrés dans ces recherches bibliographiques, j'ai fréquemment mis en usage, et dont, comme on le verra, j'ai tiré des conclusions diamétralement opposées aux siennes. Il sera intéressant d'examiner la raison de ces divergences : mais ce n'est point encore ici le lieu.

Quoi qu'il en soit, Hoppe se dit : si c'est la diminution de pression qui tue, et non la privation d'oxygène, la mort devra arriver à la même pression, quand même on emploierait de l'oxygène pur :

Un cochon d'Inde tomba en convulsion à 77^{mm}; on fit rentrer de l'oxygène pur dans la cloche, et il se releva aussitôt. Le vide étant fait de nouveau, il éprouva les mêmes symptômes à 75^{mm}; seconde rentrée d'oxygène, troisième diminution de pression : accidents à 75^{mm}; nouvelle rentrée d'oxygène, affaissement à 75^{mm}. Retour à la pression normale; l'animal survit. (P. 69). . . . .

Ainsi les symptômes d'asphyxie soudaine sont arrivés à la même pression barométrique, que l'animal soit dans l'air et dans l'oxygène.

Il en conclut définitivement que la cause de la mort se trouve dans l'apparition des gaz libres; le moment de leur dégagement varie avec « la pression, la température de l'animal, la puissance d'absorption et l'affinité du sang pour les gaz, la richesse en globules du sang. »

Les remarquables recherches de M. Fernet[1] vinrent, la même année, apporter dans la question un élément nouveau qui, lors des discussionspostérieures sur la cause du mal des montagnes, parurent servir de point d'appui pour soutenir des théories erronées.

On savait, depuis les anciennes expériences de Robert Boyle, qu'il se trouve dans le sang des gaz en quantité considérable. Des chimistes plus récents, et notamment Magnus[2] en 1837, avaient montré que l'oxygène y entre pour une très-forte proportion. Les physiologistes avaient été amenés à conclure de ces expériences que la respiration ne consiste qu'en un simple échange de gaz entre l'acide carbonique du sang et l'oxygène de l'air, échange réglé par les lois de la physique[3].

Le travail de M. Fernet les fit changer d'opinion. Ce physicien, par une série d'expériences conduites avec une rare sagacité, montra que l'acide carbonique et l'oxygène sont en grande partie maintenus dans le sang par une affinité chimique. Le procédé de démonstration qu'il employa touche directement à notre sujet, puisqu'il mettait en jeu l'influence des changements dans la pression barométrique.

Enlever au sang les gaz qu'il contenait, l'agiter en vases clos, avec de l'oxygène ou de l'acide carbonique sous des pressions variées, mesurer la quantité qu'il en absorbait dans ces conditions diverses, telle fut la méthode employée par M. Fernet.

Il montra ainsi que :

Les volumes d'oxygène chimiquement absorbés et indépendants de la pression ont une valeur relative si considérable que ces expériences se distinguent par là immédiatement de celles qui sont relatives aux solutions salines et même au sérum. Non-seulement la marche du phénomène n'est plus assujettie à la loi de la dissolution simple d'une manière presque complète, mais les volumes absorbés semblent, au premier abord, indépendants de la pression, le volume, chimiquement combiné, étant presque cinq fois égal au volume proprement dissous sous la pression atmosphérique. (P. 209.). . . . .

Or, dans la respiration, l'oxygène de l'air exerce une pression qui n'entre que pour un cinquième dans la pression de l'atmosphère, d'où il suit que le volume proprement dissous dans le sang de l'appareil respiratoire doit être réduit dans la même proportion. Le volume d'oxygène absorbé à l'état de combinaison par

[1] *Du rôle des principaux éléments du sang dans l'absorption ou le dégagement des gaz de la respiration. — Ann. des Sc. natur.*, 4e série; *Zool.*, t. VIII, p. 125; 1857.

[2] *Ueber die im Blute enthaltenen Gaze : Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensaüre. — Poggendorff's Annalen*, 1837; trad. in *Ann. des Sc. nat., Zool.;* 2e série, t. VIII, p. 79; 1837.

[3] Voir pour le développement de cette manière de voir : Vierordt, *Physiologie des Athmens.* — Karlsruhe, 1845.

les globules deviendra alors environ vingt-cinq fois égal au volume qui entre effectivement dans le sérum à l'état de dissolution proprement dite. (P. 211.)

De ce fait bien établi, dans les conditions expérimentales où il se plaçait, M. Fernet crut pouvoir tirer la conclusion suivante :

On explique ainsi ce résultat déjà constaté par un grand nombre d'observations, que l'absorption de l'oxygène est à très-peu près la même, quelle que soit la pression atmosphérique sur le sommet des montagnes et dans les plaines; cependant l'observation, d'accord ici avec la théorie, a constaté déjà de petites différences correspondant aux différences de pression; mais elles ne sont accessibles qu'aux méthodes de mesures susceptibles d'une grande exactitude. (P. 211.)

Nous devons faire toutes nos réserves sur cette conclusion, qui ne nous paraît pas comprise dans les prémisses expérimentales. Mais nous verrons que certains physiologistes se sont laissé entraîner encore bien au delà. De ce nombre est Longet.

Longet[1] analyse rapidement les observations des voyageurs en montagne et des aéronautes; il passe en revue les diverses explications qu'ils ont données des accidents éprouvés. Il accepte que des modifications brusques dans la pression puissent diminuer l'oxygénation du sang, parce que :

Un certain laps de temps est toujours nécessaire pour que l'équilibre entre les gaz du sang et les gaz extérieurs puisse complétement s'établir, pour qu'aussi les mouvements *plus actifs* de la respiration se mettent en harmonie avec les conditions nouvelles, de manière que le poumon absorbe, dans un temps donné, à peu près la même quantité d'oxygène qu'exige l'état normal. (1re éd., p. 474; 3e éd., p. 560.)

Mais si l'on séjourne longtemps, tout doit s'équilibrer. En effet, dit-il :

Si, à chaque inspiration, l'individu qui habite la montagne introduit nécessairement moins d'oxygène dans ses poumons que ne le fait l'habitant de la plaine, il y supplée à l'aide d'inspirations plus fréquentes, de manière qu'en définitive, chez l'un et l'autre, la même quantité d'oxygène peut se trouver absorbée dans le même temps. (1re éd., p. 475; 3e éd., p. 561.)

Et plus loin, en parlant de l'oxygène du sang, il écrit ce passage tout à fait explicite :

On sait que la quantité en poids d'un gaz dissous dans l'eau est toujours proportionnelle à la pression extérieure; or, en appliquant cette loi au cas dont il s'agit, on arriverait à cette conséquence que le sang des habitants des régions où la pression atmosphérique n'est guère que de 0m,380, renfermerait moitié moins

[1] *Traité de Physiologie.* — Paris, 1re édit., t. I, 1857; 3e édit., t. I, 1868.

d'oxygène que le sang des habitants des bords de la mer où cette pression est de 0m,760 ; mais sans doute la précédente loi ne trouve pas ici d'application, parce qu'il y a intervention de quelque affinité chimique. (3e éd., p. 592 ; 1re éd., p. 493.)

C'était également là l'avis de M. Gavarret[1] qui, dès 1855, s'exprimait ainsi :

Il serait faux de dire que l'absorption de l'oxygène par le sang veineux est un fait purement physique ; tout démontre, au contraire, que les forces chimiques jouent un rôle important dans cette fixation de l'oxygène. Si, en effet, son absorption était une simple dissolution physique, la pression extérieure restant la même, la quantité d'oxygène absorbé devrait croître en raison directe de la proportion de ce gaz dans l'air respiré par l'animal ; or, les expériences de Lavoisier l'avaient déjà démontré et celles de M. Regnault ont mis ce fait hors de toute contestation, quelque forte que soit sa proportion dans les atmosphères artificielles créées autour des animaux, la consommation d'oxygène reste la même. En second lieu, la composition de l'air restant la même, la quantité pondérale d'oxygène dissous *physiquement* par un liquide varie proportionnellement à la pression extérieure. Dans l'hypothèse où le phénomène s'accomplirait uniquement en vertu de forces physiques, la masse d'oxygène absorbé par les habitants des villes situées sur les hauts plateaux du Nouveau-Monde se réduirait nécessairement à des proportions très-minimes ; les animaux qui habitent d'une manière permanente la *métairie d'Antisana*, où le baromètre ne marque que 47 centimètres, n'absorberaient plus qu'un poids d'oxygène inférieur *aux deux tiers* de celui qu'ils consomment au niveau de la mer. Une pareille variation dans une fonction aussi importante entraînerait certainement, dans leur mode d'existence, des modifications profondes qui n'auraient pas échappé aux observateurs. Si l'oxygénation du sang dans les capillaires pulmonaires était un fait purement physique, chez les oiseaux de haut vol qui passent instantanément de la surface de la terre aux régions les plus élevées de l'atmosphère, la consommation d'oxygène éprouverait des variations trop subites et trop étendues pour ne pas compromettre sérieusement la vie de ces animaux. (P. 262.)

Du reste, en 1868, dans sa troisième édition, Longet empruntait à M. Gavarret cette dernière objection, et ajoutait au passage que j'ai cité plus haut la réflexion suivante :

Comment admettre que les observateurs n'auraient point été frappés des profondes modifications que des variations pareilles ne manqueraient pas de produire dans le mode d'existence de ces populations ?

N'est-il pas curieux de voir après cela que, lorsque M. Jourdanet vient, en « observateur », signaler « ces variations dans le mode d'existence des populations des hauts lieux » on le repousse par une fin de non-recevoir, tirée de ce que l'oxygène ne peut être, en vertu des lois chimiques, soustrait au sang par la diminution de pression ?

[1] *De la chaleur produite par les êtres vivants.* — Paris, 1855.

En 1858 parut la 2e édition du livre de M. Lombard[1], dont nous avons déjà parlé ; en l'annonçant, le rédacteur de la Bibliothèque universelle, le Dr Duval[2], s'exprime en ces termes caractéristiques :

Les recherches sur le mal des montagnes ont été complétées et mieux coordonnées ; peut-être l'auteur a-t-il un peu trop généralisé les accidents qui peuvent survenir du côté des fonctions digestives à une hauteur de 1300 à 2000 mètres. Bien des touristes affirmeront qu'ils n'éprouvent à cette hauteur ni inappétence, ni dégoût, ni vomissement, mais au contraire un excellent et vif appétit ; quelques-uns nieront aussi cette aversion pour le vin et les liqueurs alcooliques que l'on éprouverait dans les mêmes circonstances ; mais ce n'est qu'une question de quelques mètres de plus ou de moins, et la réalité des phénomènes décrits n'en est pas moins constante à une élévation qui varie suivant les individus. De Saussure, qui ne commençait à être sensiblement affecté qu'à 3800m, peut passer pour une exception.

Quant à M. Lombard, il revient beaucoup sur le compte de l'action directe du poids de l'air diminué ; il fait également entrer en ligne l'objection de Payerne, mais il n'en accorde pas moins une importance capitale à la moindre quantité d'oxygène contenu dans l'air dilaté, à volume égal :

MM. Barral et Bixio,... malgré que plus de 9000k fussent soustraits à la pression à laquelle leur corps était habitué, n'éprouvèrent aucune sensation bien prononcée.... D'autre part, les ouvriers qui travaillent dans les cloches à plongeur supportent une pression double, triple et même quadruple sans modification grave dans le jeu des organes ; d'où l'on est amené naturellement à considérer les différences de pression atmosphérique comme moins importantes, que l'on y serait disposé en partant du point de vue purement scientifique.

D'un autre côté, nous avons reconnu qu'à mesure que l'on s'élève sur les hauteurs, l'air devient moins dense et contient par conséquent moins d'oxygène, en sorte qu'il faut une respiration plus fréquente et plus complète pour introduire dans le poumon la quantité nécessaire à l'oxygénation du sang. Or il doit résulter de cette nécessité physiologique une gêne considérable dans la respiration et par conséquent aussi dans la circulation ; c'est ce que l'on voit chez ceux qui habitent les hautes régions de notre globe.

Cependant il ne faut pas croire que l'air raréfié de nos montagnes ne contienne pas une proportion suffisante d'oxygène pour entretenir la vie ; il résulte, en effet, des expériences faites sur la quantité d'oxygène nécessaire à la respiration, qu'un homme en repos convertit, dans l'espace d'une heure, 50 grammes en acide carbonique, et si l'on ajoute cinq et même dix grammes pour l'augmentation que peut produire le mouvement ou le travail, l'on verra qu'en supposant le séjour dans un lieu où le baromètre n'est plus qu'à 315mm (7000m), l'air contient encore 100gr d'oxygène sur 800l qu'un homme respire par heure. En sorte qu'en définitive l'on voit que, même à des hauteurs considérables, l'atmosphère pourra fournir à l'homme une quantité suffisante d'oxygène pour entretenir la respiration.

[1] *Climats de montagne,* etc., 2e édit., 1858.
[2] *Bibl. univ. de Genève,* 5e série, t. II, p. 647, 1858.

S'ensuit-il néanmoins que cette forte diminution dans un élément aussi essentiel à la vie soit sans action sur nos principales fonctions ? Nous ne le pensons pas, bien au contraire ; il est de toute évidence à nos yeux que la soustraction d'une portion notable d'oxygène doit rendre la respiration incomplète et réagir sur les autres fonctions vitales qui, comme la circulation, sont dans un rapport très-intime avec la respiration.

Mais ce n'est pas tout encore : lorsqu'un sang incomplétement oxygéné parvient aux divers organes, tels que le cerveau et le système musculaire, il est évident que leurs fonctions éprouveront une perturbation proportionnée à l'insuffisance de l'oxygénation ; en sorte que l'on devra rapporter à la diminution de l'oxygène une portion notable des troubles qui surviennent dans l'innervation et la motilité. (P. 47.)

M. Lombard admet ensuite pour partie l'explication qu'avaient donnée les frères Weber et qu'avait acceptée de Humboldt touchant le rôle de la pression sur les cavités cotyloïdes.

Parmi les phénomènes qu'éprouvent les voyageurs atteints du mal des montagnes, la sensation d'un froid extrême n'est ni la moins singulière, ni la moins pénible. M. Ch. Martins[1], qui l'avait ressentie dans son ascension au mont Blanc, en compagnie de Bravais et de M. Lepileur, a fait une étude spéciale de ce *froid physiologique*, expression qui désigne, dans la pensée du savant professeur de Montpellier, non l'abaissement de la température du corps, mais la sensation de froid que peuvent produire des causes diverses.

Après avoir étudié ces causes chez l'homme placé au niveau de la mer, M. Martins constate qu'il en existe d'autres sur les montagnes. Les unes agissent indirectement en modifiant la température de l'air que le soleil échauffe moins par suite de sa densité moindre, et qui n'emprunte que peu de chaleur aux surfaces de contact, si réduites, que lui présente le sol. Ajoutons que son renouvellement incessant ne lui donne pas le temps de s'échauffer, et que la dilatation des courants ascendants tend à le refroidir. D'autres causes agissent directement sur le corps vivant.

C'est d'abord la puissance du rayonnement qui est deux fois plus forte sur le grand plateau du mont Blanc qu'à Chamounix ; puis, l'évaporation pulmonaire et cutanée, activée par la faible pression, par le vent qui règne presque sans cesse sur les hautes régions, par la sécheresse de l'air ; enfin, sur les sommets élevés, le contact d'un sol gelé. Telles sont les causes physiques qui tendent à refroidir le corps. Après les avoir exposées avec détails, M. Martins arrive

[1] *Du Froid thermométrique et de ses relations avec le froid physiologique dans les plaines et sur les montagnes. — Mém. de l'Acad. des Sc. de Montpellier*, t. IV, 1859.

ensuite aux causes physiologiques de froid, spéciales aux hautes montagnes. Ici nous citons textuellement :

Tout le monde sait qu'à des élévations qui varient suivant les individus, de 2000 à 4000^m, on commence à éprouver des sensations pénibles, savoir : une anhélation extrême accompagnée de céphalalgie, d'envie de dormir, de nausées et d'une grande lassitude. C'est le phénomène appelé *mal de montagne*, résultat complexe de la fatigue, de la diminution brusque de pression, mais surtout de la raréfaction de l'air. En effet, les physiologistes admettent que l'homme introduit moyennement un demi-litre d'air dans ses poumons dans une inspiration ordinaire; l'oxygène de ce demi-litre d'air se combine avec le sang. Au bord de la mer, sous la pression de 760^{mm} de mercure, un demi-litre d'air pèse 0^{gr},65 et contient en poids 0^{gr},16 d'oxygène; sous une pression moindre, celle de 475^{mm}, par exemple, à laquelle nous avons été soumis pendant trois jours au Grand-Plateau, le *volume* d'air inspiré est toujours le même; mais son poids ne l'est plus, car il se réduit à 0^{gr},40, et celui que contient ce demi-litre d'air n'est plus que 0^{gr},10, et au sommet du mont Blanc, sous la pression de 420^{mm}, de 0^{gr},09....

L'oxygène du sang et par suite la calorification, sont donc moindres qu'au bord de la mer par le seul fait que la quantité d'oxygène introduite dans le poumon est beaucoup plus petite. La respiration est moins parfaite, exactement comme dans un air vicié où la proportion d'oxygène serait plus faible que dans l'air normal. Cette cause toute physique avait déjà été indiquée par Hallé, Lombard et Pravaz fils. Je lui attribue, comme eux, les symptômes d'anhélation qu'on observe dans les ascensions brusques sur de hautes montagnes.

Vainement objecterait-on que sur les hautes montagnes le nombre des inspirations supplée à la moindre proportion d'oxygène du volume d'air inspiré. Quiconque a par lui-même éprouvé les inspirations courtes, précipitées, sans ampliation convenable du thorax qui accompagnent l'essoufflement pendant et immédiatement après une ascension, a conservé le sentiment que ces inspirations hâtives ne sauraient avoir l'effet calorifique des inspirations régulières. Aussi l'anhélation cesse-t-elle du moment qu'on s'arrête, et une respiration régulière, mais plus fréquente que dans la plaine, supplée en partie la moindre quantité d'oxygène; je dis en partie, car pour y suppléer totalement, il faudrait qu'au Grand-Plateau, par exemple, le nombre des inspirations fût à celui de la plaine :: 8 : 5, c'est-à-dire proportionnel aux quantités d'oxygène inspirées. Or, cela n'est pas : l'anhélation, dans l'état de repos, n'atteint certainement pas un tiers en sus. La moindre oxygénation du sang n'est donc pas compensée par la fréquence des inspirations, et devient une cause physiologique de froid spéciale aux hautes régions, et probablement la principale de toutes celles qui amènent les symptômes connus sous le nom de *mal des montagnes*.

Cette explication, on le voit, n'est autre que celle qu'avait déjà entrevue de Saussure; on voit également que M. Martins est beaucoup moins optimiste que Longet, qui déclarait que sur les montagnes on pouvait suppléer à la richesse des inspirations par leur nombre.

Les mêmes idées se présentent également à l'esprit de Guilbert[1], rendant compte du *soroché* des Cordillères :

[1] *Loc. cit. De la phthisie*, etc., 1862.

Lorsqu'on est parvenu sur le plateau des Cordillères, l'air ne contient plus que les 3/5 de la quantité d'oxygène qu'il contient à 0,76. Or, en s'élevant, on arrive dans des régions de plus en plus froides où, pour maintenir sa température propre, l'homme doit produire plus de chaleur. Pour activer sa combustion, il a besoin d'une plus grande quantité d'oxygène, et l'air en contient moins. Voilà deux causes agissant dans le même sens, et suffisantes pour expliquer le trouble de la respiration et de la circulation.

Les expériences de Magnus ont montré la présence de gaz libres à l'état de dissolution dans le sang. La tension de ces gaz augmente comme la pression diminue. Alors ces gaz exercent une pression contre les parois des vaisseaux dans lesquels ils circulent avec le sang, et les distendent : de là compression du cerveau, de là les violentes douleurs de tête, etc.... Peut-être aussi l'hématose est-elle incomplète ; elle pourrait, dans ce cas, revendiquer une part d'influence sur le système nerveux : le sang, ayant perdu une partie de ses qualités excitatives, pourrait n'être plus un excitant suffisant ; de là la tendance à la syncope, etc....

La diminution de la pression atmosphérique explique encore les hémorrhagies. Les gaz libres du sang font effort contre les parois des vaisseaux ; il peut arriver un moment où ceux-ci, incapables de résister davantage, se rompent et laissent écouler le sang. . . . .

L'action du cœur n'étant plus contre-balancée par la pression atmosphérique, il en résulte une stase sanguine dans les capillaires qui se laissent distendre. Ce phénomène est manifeste au visage, aux mains, et surtout dans les conjonctives. Il doit en être de même dans les capillaires du poumon, et cette prédominance de la contraction du cœur a aussi une part dans la gêne de la respiration.

Notons, en outre, que Guilbert adopte l'explication des frères Weber sur les rapports de la dépression avec la solidité de la tête du fémur.

Je rapporterai enfin les conclusions de Guilbert relative à la phthisie pulmonaire. Cette maladie est très-commune sur la côte du Pacifique, excepté chez les Indiens. Mais, dans la Cordillère, on constate, suivant ce médecin :

1° L'absence de la phthisie sur les indigènes, sans distinction de race;

2° La curabilité par un séjour prolongé, et dans une proportion telle que cette curabilité ne doit plus être considérée comme l'exception ;

3° L'influence constamment retardataire du climat sur la marche de la maladie de ceux qui ne doivent pas guérir définitivement, et souvent des guérisons temporaires.

C'est à l'année 1861 que remonte le premier livre de M. Jourdanet[1]. Ce travail avait un double mérite : d'abord, au point de vue de l'observation, il arrivait à reconnaître certains signes de l'influence fâcheuse du séjour prolongé sur les hauts lieux, là où personne ne l'avait soupçonnée avant lui ; puis, au point de vue de

[1] *Les Altitudes de l'Amérique tropicale comparées au niveau des mers, au point de vue de la constitution médicale.* — Paris, 1861.

l'explication, il ramenait dans la science l'idée entrevue par Pravaz, mais qu'avaient fait rejeter bien loin les travaux de M. Fernet, d'une moindre solubilité de l'oxygène dans le sang, conséquence d'une pression barométrique diminuée. La véritable doctrine se trouvait tout entière exprimée dans ce volume. Au début, M. Jourdanet reprend, en les développant, les calculs de M. Martins :

La pression barométrique de Mexico est de 585mm. Il s'ensuit qu'un litre d'air pesant, au niveau des mers, 13 décigrammes, ne pèse plus dans cette capitale que 1 gramme à peu près. L'oxygène figure dans l'un et dans l'autre cas pour la proportion de 23,01 p. 100. Ce qui nous donne pour le poids d'un litre d'oxygène au niveau des mers 299 milligrammes, tandis que ce chiffre se trouve réduit à 230 milligrammes pour la hauteur de Mexico.

Constatons donc une différence de 69 milligrammes par litre, au préjudice de cette localité.

En admettant maintenant comme exact le calcul qui a évalué à 16 le nombre des inspirations que fait un homme dans une minute, nous remarquons que la consommation d'air est de 8 litres dans cet intervalle de temps, et, par conséquent, de 480 litres dans une heure. Mais nous avons déjà constaté pour Mexico une perte d'oxygène de 69 milligrammes par litre. Il est donc incontestable que, dans cette capitale, on perd le bénéfice de 33 grammes d'oxygène par heure ou de 794 grammes par jour. (P. 65.)

Après avoir ainsi exposé la condition principale du problème physico-physiologique, M. Jourdanet fait observer que l'ardeur du soleil sur les hauteurs de l'Anahuac doit encore agir pour diminuer considérablement la densité des couches d'air voisines du sol, et, par suite, l'endosmose gazeuse intra-pulmonaire.

Ceci posé, il rapproche avec sagacité la respiration dans un air pur, mais sous faible pression, de la respiration dans un air pauvre en oxygène, mais à la pression normale. Et répondant alors à l'objection tirée par M. Gavarret des travaux de MM. Regnault et Reiset, objection qui venait de trouver une force nouvelle dans les expériences de M. Fernet, il fait observer avec raison que si la combinaison chimique de l'oxygène et du sang était absolument indépendante de la pression, on devrait vivre aisément non-seulement aux plus faibles pressions barométriques, mais dans l'air le plus pauvre en oxygène, ce que personne n'admettra :

D'après l'avis de M. Gavarret lui-même, la solubilité de l'oxygène dans le sang se trouve diminuée lorsque la quantité d'oxygène inspiré est amoindrie. Il est donc incontestable que, quelque efficace et nécessaire que soit d'ailleurs l'affinité des globules pour l'oxygène dans l'acte de l'endosmose respiratoire, le fait seul de la raréfaction de ce gaz en diminue l'absorption sur les altitudes et apporte ainsi un trouble réel aux phénomènes de la respiration. (P. 69.)

M. Jourdanet ajoute alors la curieuse observation suivante :

Pour que les convictions que nous venons de manifester fussent dénuées d'exactitude dans les résultats, il faudrait que la raréfaction et la légèreté de l'atmosphère fussent compensées à Mexico par des inspirations profondes et par une respiration en général plus active qu'au niveau des mers. On croit vulgairement qu'il en est ainsi, et cette opinion se fonde sur l'observation à laquelle donnent lieu les personnes qui s'élèvent rapidement dans l'atmosphère, ou qui ne font sur les altitudes qu'un séjour passager. Elle est complétement erronée. La vérité est que ceux qui habitent à de grandes élévations respirent moins vite que les hommes dont le séjour est fixé près du niveau des mers. La rareté de l'air, comme nous le verrons plus loin, produit l'apathie du système musculaire. La poitrine s'en ressent pour sa part. J'ai souvent surpris les fonctions sur le fait en comptant le mouvement respiratoire sur des personnes qui n'y prenaient pas garde, et qui se trouvaient en état de repos parfait. Presque toujours je constatais une diminution dans le nombre d'ampliations de la poitrine. Quelquefois, assez souvent même, on oublie de respirer et l'on est obligé de remplacer le temps perdu en faisant des inspirations profondes. (P. 76.). . . . .

Mais cette respiration, si calme dans le repos absolu, prend facilement de l'ampleur sous l'influence du mouvement. (P. 87.)

Les conséquences de cette moindre absorption d'oxygène sont faciles à prévoir. C'est d'abord une moindre activité dans la production de la chaleur animale, alors que, en raison de l'altitude, il faudrait que cette production fût augmentée.

En effet, dit excellemment notre auteur :

La nature prévoyante, au niveau de la mer, a établi des lois qui favorisent, de la part de l'atmosphère , ces variations dans la production de chaleur humaine. Car, en hiver, l'air refroidi est plus dense, et contient, sous un certain volume, une plus grande part du principe vivifiant. La chaleur des étés , au contraire , produisant la dilatation de l'atmosphère, ne donne au poumon qu'une proportion d'oxygène en rapport avec le peu de calorique que le corps doit produire. C'est ainsi que la source où nous puisons les éléments de notre respiration varie elle-même dans une certaine mesure qui, pour le niveau des mers, est un bienfait de la Providence.

Il en est autrement sur les altitudes, où la densité de l'air, amoindrie par la diminution de la pression barométrique, n'est plus en rapport avec la température qui nous entoure, mais bien avec la hauteur où nous sommes parvenus. Et remarquez tout d'abord ce fait d'une importance extrême : tandis qu'au niveau de l'Océan les causes extérieures qui nous refroidissent prennent soin de nous donner les moyens de combattre cet abaissement de température, à Mexico, au contraire, la diminution de pression qui produit du froid dans l'air altère pour nous la source de chaleur en nous forçant à respirer une atmosphère raréfiée. De sorte que, d'un côté, la dilatabilité de l'air augmentée et l'évaporation rendue plus facile, nous refroidissent sans cesse, pendant que, d'autre part, l'oxygène devenu plus rare nous refuse les moyens normaux de calorification.

C'est sur ces données si claires et si précises que repose tout entière l'originalité physiologique des altitudes. (P. 85.)

Il n'est donc pas étonnant de voir que :

Les personnes en état de repos se refroidissent avec la plus grande facilité. Leurs membres inférieurs ne sont presque jamais chauds. L'exercice musculaire activerait la circulation et les mouvements respiratoires; mais le sang, appauvri d'oxygène, produit l'apathie des muscles et fait aimer le repos. Ici se réalise donc le résultat de l'expérience faite par M. Becquerel sur la fibre musculaire qui perd sa contractilité et s'engourdit quand le contact du sang artériel lui fait défaut. (P. 86.)

Ici, M. Jourdanet rencontre le phénomène décrit par tous les voyageurs en montagne, de la fatigue exagérée, de la douleur des cuisses, de la pesanteur des membres inférieurs; il proteste énergiquement contre l'explication des frères Weber, acceptée par de Humboldt et presque tous les auteurs consécutifs, explication qui, selon sa juste expression, « ne supporte pas un examen sérieux » :

Si nous évaluons, en effet, en centimètres carrés, la surface au plan d'ouverture de la cavité cotyloïde dont le diamètre est de 54 millimètres, nous trouvons 22,89 centimètres carrés qui, multipliés par 1003 grammes, poids équivalent à un centimètre carré de surface, nous donnent 23 645 grammes, pour représenter le poids réel dans la cavité articulaire. Si nous voulons bien nous rappeler que beaucoup de voyageurs ont senti la fatigue musculaire qui nous occupe, lorsqu'ils avaient à peine franchi un quart de pression atmosphérique, nous remarquerons que ce phénomène s'est présenté lorsque la cuisse était encore soutenue par un poids de 17 kil. 734 gr. Nous ne comprenons pas pourquoi un membre, qui peut bien peser au plus 15 livres, aurait si peu de respect pour les 21 livres d'excédant qu'il entraînerait dans sa chute. (P. 89.)

La véritable raison, selon M. Jourdanet, se formule ainsi :

Ce phénomène se présente lorsque le sang, peu oxygéné, fait diminuer notablement la faculté contractile de la fibre musculaire. Le membre abdominal se refuse alors à remplir ses fonctions normales et avertit par la douleur que le travail est au-dessus de ses forces. La même chose arriverait aux autres muscles du corps, si on exigeait d'eux les efforts exagérés que l'ascension attend des muscles de la cuisse. (P. 89.)

En résumé :

Les symptômes du fameux mal des montagnes : vertiges, lipothymies, vomissements, — qu'est-ce autre chose, sinon : anémie cérébrale par défaut du stimulant de l'oxygène artériel; engorgement du système veineux, et surtout de la veine-porte et du foie; mais, par-dessus tout, engourdissement de la fibre musculaire pour la même cause.

Toujours et partout : défaut de la quantité normale d'oxygène dans la circulation du sang artériel. (P. 90.)

La plus grande partie du livre est consacrée, comme son titre l'indique, à l'étude des maladies du Mexique. Partout M. Jourdanet y

trouve prédominante l'influence de cette anémie d'un ordre spécial « conséquence d'une endosmose respiratoire imparfaite. » C'est même, comme il le dit clairement dans ses ouvrages subséquents, c'est cette constitution médicale étrange qui, mettant en éveil sa sagacité de praticien, l'a amené à réfléchir sur les conditions fâcheuses pour la respiration et la nutrition que présente le séjour prolongé sur les hauts plateaux de l'Anahuac.

Je citerai seulement le passage suivant, parce qu'il offre une sorte de résumé de ce remarquable ouvrage, et qu'on y trouve une part donnée à la pression en tant qu'agent mécanique, part simplement adjuvante de son action chimique :

Nous avons déjà vu le sang, mollement accueilli et paresseusement chassé par les centres nerveux, congestionner le cerveau et la moelle épinière d'individus faibles, déjà maltraités par le climat. Nous dirons les troubles de plus d'un genre du tube digestif dont plusieurs devront leur origine au ralentissement circulatoire et aux engorgements capillaires du système veineux intestinal. L'utérus a réveillé notre attention par des phénomènes de même nature. Nous prendrons occasion de dire ici que les congestions pulmonaires sont fréquentes à Mexico et trop souvent mortelles. Enfin, plus fréquemment que tous les autres organes, le foie s'imbibe de sang et puise à cette source mille accidents dont les conséquences déplorables comptent fréquemment parmi les causes de mort.

Ainsi donc, plus de doute, l'altitude favorise les stases veineuses. Quand elles sont superficielles, on ne saurait nier que la diminution de la pression de l'air n'agisse, pour le résultat, dans un sens purement mécanique. Les réseaux capillaires superficiels, privés de leur soutien extérieur naturel, se laissent dilater avec une facilité d'autant plus grande que le poids est plus amoindri. Si, à cette première cause, vous rattachez un sang trop peu stimulant du côté des artères, trop abondant en général du côté des veines, vous arrivez à la trinité étiologique : adjuvant extérieur amoindri, paresse organique, engorgement général du système veineux; trinité dont les effets se porteront tour à tour sur différents points de l'organisme, selon que les troubles de l'innervation les auront préalablement disposés. (P. 254.)

Deux années plus tard, parut un long mémoire du même auteur[1].

Le titre seul de ce second travail, *l'Anémie des altitudes*, indique la pensée de M. Jourdanet : pour lui « les habitants des grandes élévations, au delà de 2000^{m}, sont généralement anémiques », et cet état se manifeste tout particulièrement aux yeux du praticien par la constitution médicale. Et cependant, l'analyse chimique du sang vient apporter une contradiction singulière à ce que révélait l'observation clinique :

[1] *De l'Anémie des Altitudes et de l'Anémie en général, dans ses rapports avec la pression de l'atmosphère.* — Paris, 1863.

En 1849, étant à Puebla, j'ai voulu m'assurer par l'examen analytique du sang si la proportion des globules s'y trouverait diminuée. Je fis une première recherche à propos d'un jeune homme de vingt-cinq ans que je savais souffrant de gastralgies et de vertiges. Il tomba de cheval, et les suites de cette chute rendirent une saignée nécessaire. Ce fut sur le sang obtenu dans ces circonstances qu'eurent lieu mes essais analytiques. Ils me démontrèrent que les globules y figuraient pour 151/1000. Je renouvelai mes expériences sur quatre jeunes femmes qui furent saignées à l'occasion d'accidents. Leur pâleur, leur abattement général, leur état nerveux, les présentaient comme des personnes atteintes de chloro-anémie, quoique l'auscultation ne fît reconnaître aucun souffle artériel. Leur sang fournit les proportions normales de globules. (P. 8.)

Quelle est l'explication de cette contradiction apparente? C'est que :

Le principal rôle des globules sanguins est de servir de support au véritable agent qui nous fait vivre. Lors donc que leur proportion diminue dans le sang, il est sans doute exact de dire qu'il y a maladie à la suite de l'amoindrissement des globules; mais on déterminerait la cause immédiate des symptômes de l'affection, d'une manière plus essentielle, si l'on attribuait son existence à la soustraction de l'oxygène. Je crois être d'autant plus fondé à m'exprimer de la sorte, que si, dans le fait de l'anémie, nous ramenons l'attention, comme il est naturel de le faire, sur la proportion diminuée de ce gaz en circulation, nous voyons plusieurs causes qui peuvent produire cette anomalie circulatoire, sans qu'il soit nécessaire de l'expliquer par une diminution globulaire. C'est là, précisément, le fait de l'anémie des altitudes. (P. 10.)

M. Jourdanet résume son opinion dans les propositions suivantes :

1° Les globules et la pression barométrique sont les régulateurs de la densité de l'oxygène dans le sang;

2° Les troubles qui s'établissent dans l'une ou l'autre de ces deux forces doivent nécessairement affecter l'hématose;

3° L'oxygène étant l'agent vital par excellence, sa diminution par défaut de globules fait la faiblesse des anémiques; sa diminution dans le sang par défaut de pression doit produire le même résultat;

4° C'est pour cela que les sujets qui respirent les atmosphères des grandes élévations, doivent avoir leur santé altérée au même titre que les anémiques des niveaux inférieurs;

5° L'anoxyhémie des altitudes a donc son analogue dans l'anémie hypo-globulaire du niveau de la mer. (P. 21.)

Or, comme les individus pléthoriques ont dans le sang une proportion considérable de globules, il n'est pas étonnant, comme le dit M. Jourdanet, qu'on les voie souvent :

Gravir les escarpements du Popocatepetl et puiser à 17 700 pieds des éléments complets de vie, tandis que leurs compagnons de voyage, moins bien constitués, succombaient au *mal des montagnes*. (P. 22.)

S'attachant alors à une étude plus détaillée du phénomène domi

nateur dont il a indiqué précédemment le sens général; tenant compte des expériences de Magnus et de M. Fernet, et des siennes propres, M. Jourdanet arrive aux remarquables conclusions que nous reproduisons textuellement :

1° De 76 à 65 centim., le vide partiel n'a d'action que sur la partie des gaz du sang qui s'y trouve retenue par solubilité pure;

2° Sous l'influence de cette première dépression barométrique, le dégagement d'acide carbonique est bien supérieur à la perte d'oxygène, d'où résulte pour celui-ci une plus grande liberté d'action;

3° Il se peut donc, qu'une élévation modérée ne diminuant pas d'une manière sensible la densité de l'oxygène du sang, tandis qu'elle en soustrait une partie notable d'acide carbonique, agisse sur l'homme dans le sens d'une action tonique et fortifiante;

4° Quant à la partie d'oxygène qu'une affinité faible permet de considérer comme étant retenue par une action chimique, son dégagement du sang n'obéit à la dépression barométrique que lorsqu'elle approche de 60 centimètres;

5° C'est donc à compter du voisinage de cette limite que la densité de l'oxygène du sang se trouve sérieusement diminuée, et c'est alors que l'anémie des altitudes commence;

6° On peut donc comprendre qu'une altitude modérée soit un moyen puissant de guérir l'anémie, tandis que cette même affection est une conséquence naturelle du séjour sur une altitude considérable. (P. 37.)

Enfin, en 1864, un troisième ouvrage[1] reproduit avec des développements nouveaux les idées émises dans les travaux auxquels je viens d'emprunter de nombreuses citations. Je ne puis cependant m'empêcher d'extraire d'un de ses chapitres sur le mal des montagnes, l'explication si nette donnée de cet ensemble d'accidents, explication à laquelle nous n'avons rien d'important à changer dans les conclusions du présent livre :

L'homme qui se transporte rapidement sur un point très-élevé se trouve privé d'une certaine quantité de l'oxygène dont il recevait habituellement une action stimulante nécessaire au plein exercice de ses forces. Certes, ce qui lui en reste, après son ascension, est encore susceptible d'entretenir la vie et même le jeu régulier des fonctions. Mais l'homme ne saurait supporter sans accidents passagers une soustraction subite qui diminue les ressources auxquelles le système nerveux est dans l'habitude de puiser son influence. La fibre musculaire se refuse aussi à remplir sa tâche au contact d'un oxygène affaibli. On voit alors apparaître ces phénomènes que les hémorrhagies nous ont rendus familiers. Sous l'impression causée par une perte de sang, l'organisme, nous le savons, perd tout à coup une partie importante de son stimulant normal; on a le vertige, les muscles s'affaissent, les nausées surviennent, et le malade est pris de syncope d'autant plus vite que sa position le rapproche davantage de la station verticale. . . . .

La faiblesse produite par la saignée est évidemment la conséquence d'une privation subite d'oxygène par la perte d'une certaine quantité de globules, de même

[1] *Le Mexique et l'Amérique tropicale: climat, hygiène et maladies.* — Paris, 1864.

que le *mal des montagnes* provient d'une soustraction plus directe du même gaz. De sorte que, n'en doutons pas, une *ascension au delà de 3000 mètres équivaut à une désoxygénation barométrique du sang, comme une saignée en est une désoxygénation globulaire*. (P. 92.)

Ces travaux suscitèrent bientôt une polémique qui ne laissa pas d'être assez vive. Un corps expéditionnaire français venait d'être envoyé au Mexique, et les conclusions de M. Jourdanet n'étaient rien moins qu'encourageantes pour ceux qui rêvaient l'établissement d'un empire latin qu'appuierait une colonie française établie sur les hauts plateaux de l'Anahuac.

Michel Lévy, alors directeur de l'école de médecine et de chirurgie militaires, s'en émut et crut devoir ouvrir sur l'exactitude des faits signalés par M. Jourdanet une sorte d'enquête, dont le docteur L. Coindet, chef du service médical de la 2e division de l'armée française, consentit à se charger.

La première lettre envoyée par cet observateur à son chef hiérarchique, s'occupait à contrôler l'assertion de M. Jourdanet, sur le ralentissement du mouvement respiratoire :

Assertion, disait Michel Lévy, qui heurte l'opinion admise jusqu'à présent, que, sous l'influence d'une diminution de pression atmosphérique, la respiration s'accélère pour compenser par le nombre des inspirations la proportion moindre d'oxygène dans un même volume d'air[1].

Dans ce document[2], L. Coindet rapporte les résultats de 1500 observations faites sur des Mexicains et des Français arrivés sur les hauts plateaux, observations dans lesquelles il a compté le nombre des mouvements respiratoires. Je reproduis ici le résumé de ses tableaux :

	Français.	Mexicains.
Au-dessous de 16 inspir. à la minute	54	25
A 16 inspir.	70	54
Au-dessus de 16 inspir.	626	671
	750	750
Moyenne générale des inspir. à la minute	19,36	20,297

D'après cette masse de faits, ajoute notre auteur, le doute n'est plus permis, et il est bien positif que ceux qui habitent ici ne respirent pas *moins vite* que les hommes dont le séjour est fixé à 2277 mètres plus bas.

Plus loin, Coindet déclare :

Qu'indépendamment de l'activité plus grande de la respiration, les inspirations

[1] *Gazette hebd. de méd. et de chir.*, 1863, p. 777.
[2] *Gaz. hebd. de méd. et de chir.*, 1863, p. 778-781.

sont généralement amples, larges, profondes, et d'autant plus qu'elles sont moins nombreuses.

Il affirme alors, sans avoir pris cependant aucune mesure exacte sur ce point :

Que, de la sorte, l'équilibre s'établit toujours, et que la fonction tend continuellement à se mettre en rapport avec la raréfaction et la légèreté de l'atmosphère.

Puis, conclusion singulièrement rapide et qui semble indiquer de la part de notre auteur un bien grand désir d'être aisément convaincu, de ces observations sur le rhythme respiratoire Coindet n'hésite pas à tirer aussitôt la conséquence grave :

Que ce qui a été écrit relativement à l'insuffisance de l'oxygénation du sang sur les altitudes, comme conséquence d'un prétendu ralentissement de la respiration, semble devoir être considéré comme non avenu.... Il se pourrait très-bien que l'anémie, soi-disant mexicaine, ne repose que sur le teint jaunâtre propre aux indigènes !

Viennent ensuite des observations sur le nombre des pulsations et les mesures comparatives de l'amplitude de la poitrine chez les Français et chez les Mexicains. Nous reviendrons plus loin sur ces derniers. Relativement au pouls :

Je l'ai, dit Coindet, tâté à plusieurs reprises, sans aucune prétention, et j'ai même compté les battements du cœur qui concordaient avec ceux des artères.

En définitive, il trouve, comme nombre moyen de pulsations, 76,216 chez les Français et 80,24 chez les Mexicains.

La seconde lettre[1] traite « de l'acclimatement sur les altitudes du Mexique » ; elle ne contient qu'une description sommaire des races du Mexique, et quelques indications météorologiques. J'y relève cependant le passage suivant, qui ne manque pas d'intérêt :

Après notre passage du Cumbre, quand nous arrivâmes au-dessus de 2000 mètres d'élévation, alors la respiration, la circulation, et consécutivement l'absorption, l'exhalation et la nutrition éprouvèrent des modifications sensibles. Nous remarquâmes une tendance des fluides du corps à se porter à la périphérie, d'où embarras de la circulation, congestions diverses, hémorrhagies cérébrales, pulmonaires, nasales, ainsi que j'en ai cité plusieurs exemples ; la difficulté de respirer, qui nous rendait haletants, anhéleux ; malaise général, nous faisant trouver le temps lourd, bien qu'il fût réellement plus léger ; gêne des mouvements, fatigue plus facile, et ces phénomènes furent surtout marqués chez les hommes du 95e de ligne, qui comme nous n'avaient pas séjourné longtemps à Orizaba, et qui étaient

[1] *Gaz. hebd.*, 1863, p. 817-821.

passés assez brusquement du niveau des mers à une élévation assez considérable. Peu à peu l'organisme de tous, en conflit d'abord avec un milieu pour lequel il n'avait pas été créé, s'est adapté progressivement à ce milieu, et aujourd'hui, après dix mois de séjour sur l'Anahuac, il s'est transformé en telle sorte qu'il se rapproche de celui de l'Indien. (P. 817.)

La troisième lettre[1] est pour nous beaucoup plus importante. On y trouve le récit des analyses pratiquées au laboratoire de l'école des mines de Mexico, sous la direction du professeur Murfi, dans le but de mesurer la quantité d'acide carbonique formée dans un temps donné par des habitants des hauts plateaux. 25 individus, dont 10 Français, 10 Indiens ou métis, et 5 Mexicains d'origine européenne, ont été mis en expérience. Les résultats moyens, pour les Français, par exemple, sont renfermés dans le tableau suivant :

Nombre des inspirations à la minute.	19,6
— pulsations.	78,2
Quantité d'air expiré en une minute.	5^lit,90
Moyenne d'acide carbonique pour 100 à la minute.	4,24

Si nous laissons de côté la discussion à laquelle se livre Coindet sur les petites différences de détails constatés entre les représentants des diverses races sur lesquels il a expérimenté, nous trouvons que ces constatations lui inspirent les réflexions suivantes :

La moyenne d'air expiré à la minute admise par M. Dumas étant de 5^litres,3 au niveau des mers, nous avons ici d'une manière générale, toujours une fois l'acclimatation produite, 6 lit. environ. Ceci devait être, car l'air des altitudes renfermant sous un volume donné moins d'oxygène à 0^m,58 ou 0^m,59 de pression barométrique qu'à 0^m,76, il était nécessaire d'absorber une plus grande quantité de cet air pour compenser la différence : c'est ce à quoi on arrive par une activité plus grande de la respiration ; de sorte que l'air qui est introduit dans les poumons, et qui en est exhalé, est toujours d'un tiers de litre environ pour chaque inspiration et chaque expiration.

L'air expiré par l'homme au niveau des mers renfermant de 3 à 5 parties d'acide carbonique pour 100, il résulte de nos expériences que sur l'Anahuac la moyenne n'est pas moins élevée, puisque, pour 25 sujets, elle est de 4,36.

Or, il résulte de 103 observations faites au niveau des mers par MM. Brunner et Valentin, que la quantité d'acide carbonique contenne dans l'air expiré est de 4,267 pour 100. M. Vierordt[2], qui a tenté, à cet égard, près de 600 expériences, est arrivé à peu de chose près aux mêmes résultats. L'air expiré contient en moyenne 4,336 pour 100.

Notre moyenne ne diffère pas de cette dernière, si l'on tient compte de la diminution de pression atmosphérique qui, comme on ne l'ignore pas (?), augmente un peu la proportion d'acide carbonique exhalé.

[1] *Gaz. hebd.*, 1864, p. 33-37.

[2] La moyenne de la circulation aérienne intra-pulmonaire était précisément pour Vierordt de 6 litres, c'est-à-dire égale à celle constatée par Coindet.

On n'est pas peu surpris, après cette longue énumération de faits, de voir Coindet s'écrier avec un accent de triomphe :

Absorption d'oxygène, exhalation d'acide carbonique constituent, au point de vue chimique de la respiration, deux termes liés l'un à l'autre. D'autre part, la modification dans les qualités de l'air expiré et les changements correspondants dans la constitution du sang, sont les deux termes du problème physico-chimique de la respiration.

Il ne peut donc rester de doute sur ce que l'on doit penser de la prétendue insuffisance d'oxygénation du fluide sanguin sur les altitudes.

La *Gazette hebdomadaire* contient encore une autre série de lettres adressées par Coindet à Michel Lévy[1], sous le titre général : « Études statistiques sur le Mexique », consacrées à la pathologie, à la météorologie, etc. Elles ne touchent que rarement aux questions purement physiologiques. On voit que, pour ce médecin, tout est résolu par ses recherches précédentes, et qu'il est bien prouvé, comme il le dit en maintes circonstances, que sur les hauts lieux l'homme compense exactement, par le nombre et l'amplitude des mouvements respiratoires, ce que tendrait à lui faire perdre en oxygène la moindre densité de l'air ; en telle sorte que l'équilibre est régulièrement maintenu. Je ne trouve à reproduire textuellement que le passage suivant, dans lequel se montre l'opinion que se fait notre auteur de la cause du mal des montagnes.

Le 5 juin 1863, dit-il, en compagnie du Dr Laval, je montai presque au sommet de l'Iztaccihuatl (4686m).... Notre bouche et notre gorge étaient sèches ; nous avions les jarrets brisés ; notre respiration était haletante, précipitée, profonde, souvent entrecoupée ; notre pouls, petit, donnait 128 pulsations. Mais nous ne ressentions pas encore de malaise, de céphalalgie, de disposition nauséuse, ce qui constitue, en un mot, le mal des montagnes, dans lequel, entre parenthèse, l'accélération de la circulation n'est sans doute pas sans avoir une grande part par son influence congestive.

M. Jourdanet ne laissa pas sans réponse des lettres qui contredisaient sur presque tous les points ses assertions physiologiques et médicales, et laissaient croire qu'il ne pouvait y avoir quelque chose d'exact « dans un livre », ce sont les expressions mêmes de Coindet, « si opposé, je m'en félicite, à tout ce que j'ai écrit. » Sans relever ce qui regarde la pathologie, nous irons droit à la réponse péremptoire qu'oppose M. Jourdanet[2], non aux faits rapportés par Coindet, mais aux conclusions qu'en tire ce médecin :

[1] *Gaz. hebd.*, 1864, p. 234, 265, 371, 450, 545, 579, 674.
[2] *Gaz. hebd.*, 1865, p. 145-151.

M. Coindet affirme que la respiration n'est pas seulement accélérée, mais qu'elle est *ample, large, profonde.* Or, quelles sont cette ampleur, cette largeur et cette profondeur? Nous en trouvons la mesure non équivoque dans le passage de sa correspondance où nous voyons que 25 sujets ont donné une moyenne de 6 litres d'air respiré par minute, pour 20 inspirations. C'est donc une moyenne de 30 centilitres d'air pour chaque mouvement respiratoire. Or, il est évident que ce volume d'air ne représente qu'une ampleur thoracique fort médiocre....

Notre confrère n'est pas plus heureux lorsqu'il affirme que, sur les grandes hauteurs de l'Anahuac, en un temps donné, il passe plus d'air dans la poitrine qu'au niveau de la mer; car les 6 litres qu'il a recueillis chez les sujets de ses observations ne dépassent pas la moyenne fort ordinaire fournie par les hommes de 20 à 30 ans sous la pression de 76 centimètres. Et encore est-il juste de faire observer que, vu la raréfaction de l'air de Mexico, ces 6 litres ne pèsent que 6 grammes, au lieu de 7^{gr},8, poids du même volume d'air au niveau de la mer....

Donc, d'après M. Coindet lui-même, à 2277^{m} d'altitude, la respiration n'est ni plus ample, ni plus large, ni plus énergique qu'au niveau de la mer. (P. 150.)

La réponse paraît péremptoire sur ce point de la question. Restent les considérations d'ordre chimique.

Ici, M. Jourdanet relève, dans la rédaction de Coindet, une obscurité qui aura sans doute frappé déjà nos lecteurs, mais qui rend tout à fait incompréhensible la lecture des diverses observations contenues dans le mémoire lui-même. Nous avons, dans le tableau reproduit plus haut (p. 275), copié textuellement ces mots : *moyenne d'acide carbonique pour* 100 *à la minute :* 4,24. Que signifie cette indication? A-t-elle rapport à une proportion centésimale estimée en volume, ou à un poids? Cette question se pose à propos de chacune des observations. Or,

On est tout surpris, dit avec raison M. Jourdanet, de l'obscurité qui règne dans le compte rendu de M. Coindet. Prenons, par exemple, la première expérience :

« H. Staines.... Nombre d'inspirations à la minute 22; nombre de litres d'air en une minute 6,4; acide carbonique pour cent 4,64. »

En présence de ces 6,4 litres d'air respiré par le sujet des expériences, on ne saurait s'empêcher de croire que les 4,64 pour 100 d'acide carbonique désignent en volume aussi la quantité proportionnelle de ce gaz. Mais plus loin (*Gaz.*, 1864, p. 36, 1re col.), ces chiffres se trouvent reproduits sous le titre de : *Poids pour* 100 *d'acide carbonique expiré dans une minute.* Évidemment la rédaction n'est pas claire.

Nous répéterons avec M. Jourdanet : évidemment la rédaction n'est pas claire ; mais une circonstance importante jette sur elle un jour complet. C'est le rapprochement que fait Coindet du chiffre qu'il a obtenu avec ceux de Vierordt, de Brünner et de Valentin. Or, ces physiologistes ont très-certainement désigné la proportion centésimale en volume, et Coindet n'a pu faire là-dessus de confusion,

puisque le passage que nous avons copié plus haut est *la reproduction textuelle* d'un alinéa du livre si justement populaire de M. Béclard[1], duquel ont été seulement retranchés les mots « pour 100 en volume ». Il s'agit donc bien, aux yeux de Coindet, d'une proportion en volume, et ses expériences mêmes montreraient, s'il en était ainsi, une considérable diminution dans les combustions intra-organiques sur le plateau mexicain, puisque la quantité (en volume) d'acide carbonique exhalé y étant la même qu'au niveau des mers, la quantité en poids serait évidemment bien inférieure, inférieure dans un rapport mesuré par la diminution même de la pression atmosphérique.

Mais voici bien autre chose. M. Jourdanet, qui se trouvait alors à Mexico, tenant à s'éclairer sur cette question douteuse, interroge M. Murfi, « véritable auteur de ces analyses », et il en obtient une réponse montrant clairement que :

Les expériences du Collége des mines ont donné en moyenne 4 grammes et 51 centigrammes d'acide carbonique pour 100 litres d'air expiré, mesuré à 14 degrés de température et à 58 centimètres.

La contradiction est flagrante : Coindet indiquait des volumes, M. Murfi affirme qu'il s'agit de poids, et M. Jourdanet, attribuant avec raison plus d'importance aux dires du chimiste mexicain, en tire une conséquence vraiment écrasante pour son adversaire :

Il est donc indubitable, dit-il, que les sujets des expériences du Collége des mines ont produit $4^{gr},51$ d'acide carbonique, pour 100 litres d'air expiré. D'autre part, le compte rendu de M. Coindet, d'accord en cela avec le dire de M. Murfi, affirme que la quantité d'air expiré a été en moyenne de 6 litres par minute. Qui peut douter dès lors que si $4^{gr},51$ d'acide carbonique correspondent à 100 litres d'air, les 6 litres expirés par les sujets des expériences en contenaient 27 centigrammes. Il est donc certain que le résultat tout à fait irrécusable du dosage respiratoire du Collége des mines a été que les sujets de vingt à trente ans ont produit 27 centigrammes d'acide carbonique par minute, c'est-à-dire 16 grammes et 20 centigrammes par heure.

Les conclusions de M. Coindet ne sont pas d'accord avec ces chiffres ; car, non-seulement ces chiffres alarmants ne l'autorisaient pas à dire que la respiration à Mexico est identique avec celle du niveau des mers, mais indiquent un danger qui ferait justement redouter le séjour du haut Anahuac ; puisque, d'après ces expériences, les combustions respiratoires carbonées n'y arriveraient pas à la moitié de ce qu'elles sont au niveau de la mer. Les analyses du Collége des mines nous laissent donc dans un souci des plus graves. Je l'ai fait pressentir à mes collègues de la Société de médecine de Mexico, qui en ont été assez émus pour voter de nouvelles expertises. (P. 151.)

[1] *Traité élémentaire de Physiologie,* chap. IV, § 138

A cette indiscutable conclusion, Coindet[1] essaye de répondre à son tour. Laissons de côté les simples affirmations, laissons de côté, bien qu'ils abondent, les écarts d'une polémique acrimonieuse et arrivons au fait lui-même, à la contradiction que nous avons plus haut mise en lumière :

M. Michel Lévy, dit-il, les membres de la Société de médecine de Mexico, savent la réponse que j'ai faite aux assertions de M. Jourdanet. J'ai prouvé que le volume 3,90 pour 100 d'air à 14 degrés température et à 58 pression que me donnait le poids 4,51 pour 100 d'air aussi à 14 degrés température et à 58 pression, fournissait, en raison de la plus grande quantité d'air expiré (6 litres au lieu de 5,3 Dumas), 295^{gr},13 de carbone brûlé en 24 heures, ou 12^{gr},30 en une heure, et l'on sait les moyennes admises au niveau des mers par MM. Dumas, Andral, Gavarret, Valentin, Brunner, Vierordt, etc. Il est bien positif, je l'affirme, que mes sujets n'auraient pas expiré plus de 3^{lit},3 d'air au niveau des mers.

J'avoue, quant à moi, ne pas bien comprendre, et il eût été à désirer que Coindet reproduisît dans sa lettre les *preuves* qu'il avait envoyées à M. Michel Lévy. D'abord, constatons que cette fois, pour lui, les 4,51[2] ne sont plus une mesure de volume, comme cela résultait évidemment de l'alinéa que nous avons cité, mais une mesure de poids; c'est bien, comme l'a dit M. Murfi, le poids d'acide carbonique contenu dans 100 litres d'air expiré à 14° et 58^{c}. Mais dès lors, le raisonnement et le calcul de M. Jourdanet sont inattaquables. S'il passe 6 litres d'air par minute dans les poumons, cela fait en une heure 360 litres, contenant $360 \times 4^{g},51 = 16^{gr},23$ d'acide carbonique. Or, les recherches d'Andral et Gavarret[3] donnent une moyenne, entre 20 et 40 ans, de 12^{g},2 de carbone brûlé, ce qui correspond à 44^{g},07 d'acide carbonique. L'écart est énorme, tellement énorme que, pour ma part, je crois à une erreur fondamentale dans les analyses mêmes qui lui servent de point de départ.

Voyons maintenant le raisonnement de Coindet. Et d'abord, constatons qu'il prend un singulier chemin de traverse : « J'ai prouvé, dit-il, que le volume 3,90 p. 100 d'air à 14° et à 58 pression que me donnait le poids 4,51 pour 100 d'air aussi à 14 degrés température et à 58 pression.... »

Voilà des calculs pénibles et bien inutiles, car pourquoi transformer un poids en volume pour chercher à nouveau une quantité en

[1] *Gaz. hebd.*, 1865, p. 467-470.
[2] Ce chiffre est relatif aux expériences faites sur les Indiens. (*Gaz. hebd.*, 1864, p. 36.)
[3] *Recherches sur la quant. d'ac. carb. exhalé par le poumon dans l'espèce humaine.* — *Cpt. R. Acad. des Sc.*, t. XVI, p. 113, 1843.

poids? Refaisons-les cependant, parce que, si leur résultat apparent est favorable, nous allons y trouver de notables erreurs.

Un litre d'acide carbonique à 0° et 76^{c} de pression pèse 1^{g},966. Donc, 4^{g},51 de ce gaz représentent dans ces conditions de température et de pression $\frac{4^{lit},51}{1,966}$, soit à 58^{c} $\frac{4^{lit},51 \times 76}{1,966 \times 58}$, et à 14° $\frac{4^{lit},51 \times 76\,(273+14)}{1,966 \times 58 \times 273} = 3^{lit},160$.

Ainsi l'air expiré renfermait en volume 3,16 pour 100 d'acide carbonique, et non pas 3,90 comme le dit Coindet, dont tous les résultats subséquents se trouvent singulièrement faussés.

Il y a mieux : en acceptant même le chiffre de 3,90 pour 100 (rapport qui, par parenthèse, ne varie pas, comme paraît le croire Coindet, avec la pression et la température) on trouve des résultats définitifs bien différents de ceux qu'il enregistre. En effet, les hommes qu'il observait faisaient passer dans leur poitrine, par heure, 360 litres d'air, qui contenaient par suite, selon lui, $360 \times 3^{lit},9 = 14^{lit},04$ d'acide carbonique, à 14° et 58^{c}, représentant, à 76^{c} et 0°,

$$\frac{14^{lit},04 \times 58 \times 273}{76\,(273+14)} = 10^{lit},19.$$

Or, 1 litre pesant 1^{gr},966, on n'aurait pour la production par heure que $1^{gr},966 \times 10,19 = 20^{gr},03$; et comme il y a en poids 27,68 pour 100 de carbone dans l'acide carbonique, le poids du carbone brûlé par heure serait

$$\frac{1^{gr},966 \times 10,19 \times 27,68}{100} = 5^{g},54 ;$$

ce qui est bien loin des 12^{gr},30 annoncés par Coindet.

Au contraire, le calcul de M. Jourdanet trouve ici une vérification complète par contre-épreuve. En effet, il résulte de ce que nous venons de dire immédiatement que, en réalité, d'après les expériences de Coindet, ses hommes exhalaient par heure

$$360 \text{ litres} \times 3,16 = 11^{lit},376$$

d'acide carbonique, représentant à 76^{c} et 0°, 8^{lit},258, lesquels pèsent 16^{gr},23, nombre exactement semblable à celui que nous avons précédemment trouvé après M. Jourdanet.

C'est au lecteur à décider s'il convient, après une si étonnante

argumentation, de railler, comme l'a fait Coindet, « la compétence » de celui qui relevait fort courtoisement son erreur. Quoi qu'il en soit, on peut maintenant facilement apprécier ce que valent les conclusions suivantes, qu'il a hardiment formulées[1] :

4° La moyenne d'acide carbonique expirée sur l'Anahuac, à alimentation et à conditions égales, n'est pas moins élevée qu'au niveau des mers.

. . . .

6° La quantité d'oxygène qui circule dans le sang, est la même sur les hauteurs qu'au niveau des mers ; et, à conditions hygiéniques égales et également satisfaisantes, le degré d'énergie de l'hématose est aussi le même.

. . . .

17° Dans les conditions ordinaires, l'habitation de l'Anahuac ne paraît pas diminuer d'une manière permanente et préjudiciable la somme des gaz qui circulent dans le corps de l'homme.

Quant à moi, je n'hésite pas à le dire, dans le travail de Coindet, rien ne motive cette dernière conclusion, et tout y contredit les deux premières. Pour aller jusqu'au fond de ma pensée, j'avourai que je ne saurais admettre comme exactes les analyses mêmes qui en sont le fondement ; il doit y avoir là quelque erreur dans la méthode expérimentale ou dans son application. Je dirai seulement que la quantité d'air sur laquelle portait l'analyse était beaucoup trop faible : M. Murfi faisait exécuter dans son appareil les mouvements respiratoires pendant *une demi-minute ;* Andral et Gavarret les faisaient continuer *de* 8 *à* 13 *minutes*. De plus, on n'a pas pris de précaution pour recueillir l'air qui passe par les narines. Si disposé que je sois à penser que sur l'Anahuac l'intensité des combustions organiques soit réellement diminuée, je me refuse à croire qu'elle ait baissé de plus de moitié, ainsi que cela serait démontré, si l'on considérait comme exacts les chiffres fournis par le travail de Coindet lui-même. En résumé, au point de vue des phénomènes chimiques de la respiration, il ne reste de ce travail absolument rien.

Un des chirurgiens de l'expédition du Mexique, M. Cavaroz[2], publia peu de temps après un mémoire dont les observations et les conclusions se rapprochent tout à fait de ce qu'avait déjà dit M. Jourdanet.

Il a d'abord pris sur des soldats français un grand nombre de mesures desquelles il résulte que, à une altitude de 1712^{m}, la

[1] *Gazette hebdomadaire,* 1865, p. 468.
[2] *De la Respiration sur les hauts plateaux de l'Anahuac.* — *Rec. de Mém. de méd. milit.,* 3e série, t. XIV, p. 512-516, 1866.

moyenne générale des respirations était 19 2/3, et celle des pulsations 65 1/4 :

Il en tire d'abord cette conséquence que : sur les hauts plateaux de l'Anahuac, il s'établit chez l'Européen une respiration supplémentaire, destinée à compenser par le nombre des mouvements respiratoires la déperdition d'oxygène qui résulte pour l'hématose de la raréfaction de l'atmosphère. . . . .

Mais, ajoute-t-il bientôt, c'est une question de savoir si cette compensation est complète, et si, en fin de compte, il n'y a pas de déperdition d'oxygène, et si l'hématose est aussi normale, aussi parfaite qu'au niveau des mers. Je ne le pense pas, car d'après le rapport moyen de 18 respirations pour 67 pulsations, le nombre des pulsations pour 19 2/3 respirations devrait être 67 1/2. Il n'est que de 65 1/4 ; il y a donc 2 1/4 pulsations en moins : donc la circulation est languissante jusqu'à un certain degré, et l'état physiologique troublé.

Le reste du travail de M. Cavaroz contient des observations tendant à prouver que, sur les hauts plateaux, l'Européen perd sa vivacité et ses forces, et que, s'il devient malade, il tombe rapidement dans un état adynamique. Aussi, à ses yeux, l'acclimatement parfait n'est-il rien moins que démontré. Le rapport entre ces idées et celles de M. Jourdanet est tout à fait frappant.

Cependant on n'en a tenu aucun compte, et désormais les auteurs ne parleront que de Coindet auquel, il faut bien l'avouer, ils seront unanimes à donner raison contre M. Jourdanet, ce qui prouve, entre autres choses, qu'il est bien plus facile de lire des conclusions que de discuter un mémoire.

Ainsi, dans l'article *Air* que M. A. Tardieu[1] a rédigé pour le Dictionnaire de médecine et de chirurgie pratiques, le savant hygiéniste consacre une page à l'étude des effets physiologiques de l'air déprimé. Elle est remplie par une analyse rapide des idées de M. Jourdanet et des travaux de Coindet ; j'en extrais ces lignes caractéristiques :

On voit, d'après ce qui vient d'être dit, ce qu'il faut penser de la prétendue insuffisance d'oxygénation du liquide sanguin sur les hauteurs.

Du reste, M. Tardieu ne présente aucune explication.

L'article *Altitudes* que, dans le Dictionnaire encyclopédique, fit paraître deux ans après M. Leroy de Méricourt, mérite le même reproche. Mais avant d'en rendre compte, je dois dire un mot d'un livre fort curieux, publié en 1863 par le Dr Foley[2].

Lorsque nous en arriverons à l'étude de l'air comprimé, nous

[1] Art. *Air* du *Diction. de Méd. et de Chir. pratiques.* — Paris, 1864.
[2] *Du Travail dans l'air comprimé.* — Paris, 1863.

aurons à en donner une analyse étendue. Nous verrons que, pour ce médecin, la compression exercée par l'air joue le rôle principal : « Quand on entre dans les tubes, dit-il, on est aplati. » Il apporte naturellement la même préoccupation d'ordre mécanique dans l'étude du mal des montagnes :

Un voyageur gravit une montagne. Plus il monte, plus il se sent faible, plus ses veines sous-cutanées gonflent. Il finit par se trouver mal. Pourquoi ?

La périphérie de son corps a cessé d'être comprimée. Un vide relatif s'y est fait. Le sang s'y est accumulé. L'encéphale en a manqué. L'aéronaute s'est évanoui. (P. 63.)

Ajoutons que, plus loin, M. Folëy déclare que les maux de cœur, les crampes, etc., sont le signe d'une « aimatose insuffisante. »

Enfin, pour notre auteur, c'est la présence des sacs aériens qui sauve l'oiseau des accidents de la décompression ; les chocs en retour dont il serait menacé comme les ouvriers qui sortent des tubes (voir plus loin, titre II, ch. III) lui sont évités grâce à la tension élastique des gaz qui sont contenus dans les sacs. Pour cela, il suffit à l'oiseau qui s'élève de fermer le bec et les arrière-narines ; mais peut-être est-il permis de se demander comment alors il pourra respirer.

Un vétérinaire distingué, qui commandait le service pendant l'expédition du Mexique, M. Liguistin[1], s'est trouvé placé en présence des mêmes problèmes que les médecins militaires. Il ne paraît pas avoir eu connaissance de la vive discussion dont nous venons de résumer les traits principaux :

« Pour lui, du reste, l'effet de la diminution de la densité de l'air est parfaitement connu. » (T. III, p. 583.)

Quant aux accidents observés sur les animaux, il déclare que les troubles de la respiration signalés par les médecins ne paraissent pas avoir atteint les bêtes de somme :

Les grands solipèdes supporteraient-ils plus facilement que l'homme l'action d'un air peu oxygéné ? Le tempérament lymphatique dont ils sont dotés expliquerait-il suffisamment le besoin moins urgent d'un air plus condensé ? Nous savons bien cependant, et nous l'avons dit déjà, que la pression atmosphérique la plus favorable aux animaux est aussi celle qui a lieu au niveau des mers et dans les lieux peu élevés, alors que la colonne de mercure marque sur le baromètre environ 76 centimètres ; que, si l'on place un animal vivant dans le vide, l'air inté-

[1] *Considérations générales sur les maladies principales qui ont régné sur les chevaux et mulets du corps expéditionnaire du Mexique pendant la période de* 1862 *à* 1863. — *Journal de médecine vétérinaire militaire,* t. III, mars, avril, mai 1865 ; t. IV, juin, juillet, août 1865

rieur n'ayant plus rien qui lui résiste se dilate, l'animal se gonfle et périt ; que c'est la pression de l'air qui maintient les fluides dans les vaisseaux des animaux et les empêche de s'échapper. Donc, lorsque le baromètre descend de quelques degrés, le sang doit évidemment se porter vers la périphérie : on observe alors la difficulté et l'accélération de la respiration, l'embarras de la circulation, des fatigues, de l'accablement, de la nonchalance. Si dans cette situation nos animaux étaient doués de la faculté de traduire leur impression, ils nous diraient probablement, comme l'homme, que le temps est lourd, prenant ainsi l'effet pour la cause, car on sait : que plus l'air est rare et plus il est léger. Il est inutile d'expliquer pourquoi la respiration est plus accélérée. On sent assez que l'air nécessaire à la vie étant extrêmement rare, il faut que les actes respiratoires soient multipliés pour que le même résultat soit produit. Il est encore plus inutile d'ajouter que l'air devenant plus rare, on pourrait périr d'asphyxie. Dans un air raréfié, doivent nécessairement dominer les inflammations thoraciques et les hémorrhagies. C'est cependant ce que nous n'avons pas observé, et c'est pourquoi aussi nous nous croyons autorisé à avancer que le peu de pression de l'atmosphère des plateaux élevés du Mexique n'a pas sur nos animaux l'influence particulière que l'on a observée sur les hommes vivant dans le même milieu. Nous ne faisons intervenir la raréfaction de l'air que pour expliquer les ballonnements exagérés qui ont accompagné les indigestions nombreuses observées sur nos chevaux et nos mulets pendant la période du siége. (T. III, p. 658.)

Dans un travail spécial, le même vétérinaire rend compte d'une série d'accidents très-curieux, observés sur les animaux du corps expéditionnaire, au passage du Rio-Frio (3300^{m}).

L'animal passe de la santé à la maladie sans symptômes précurseurs. L'organisme est dans un état de tension général, le système musculaire tout particulièrement. L'œil est fixe, hagard, brillant, inquiet, le facies crispé et la pupille dilatée. Les membres postérieurs et toute l'arrière-main sont le siége de mouvements spasmodiques très-accusés et facilement saisissables. Les muscles du grasset et de la cuisse présentent des tremblements partiels.

La bouche est remplie d'une salive blanche, écumeuse, très-abondante. Les mâchoires sont dans une contractilité permanente. Il y a certainement surexcitation sensible des glandes salivaires. L'envie de vomir est manifeste. Les efforts fréquents avec éructation sont faciles à constater. Le ventre n'est pas ballonné. Il y a quelques légères coliques traduites par un peu d'inquiétude, mais les animaux ne se campent pas, sollicités instinctivement par le besoin d'uriner ou d'expulser des matières fécales. L'appareil génito-urinaire est surexcité : il y a érection opiniâtre et douloureuse de la verge. Les conjonctives sont dans leur état naturel ou ne présentent aucuns changements bien sensibles : elles sont rosées et très-légèrement injectées. Le système sanguin capillaire n'est pas visiblement modifié. Les battements du cœur sont forts et tumultueux. On perçoit à distance, sans avoir recours à l'auscultation, les mouvements précipités de diastole et de systole, et on peut compter les percussions de cet organe en portant l'attention en arrière du coude ;...... et cependant, chose bien singulière, l'état du pouls n'est pas modifié dans son rhythme normal, d'une façon appréciable.

Les naseaux sont dilatés. L'air expiré est chaud ; la respiration est accélérée. L'inspiration est petite et l'expiration profonde. Les muscles respiratoires sont contractés, tendus, et les flancs, tirés en contre-haut, sont séparés dans leur milieu

par des saillies extrêmement prononcées. Ils s'abaissent et s'élèvent jusqu'à vingt et vingt-cinq fois dans une minute.

Il y a plutôt affaissement général du système nerveux que surexcitation apparente du cerveau.

Les désordres que nous venons de signaler persistent sans aggravation pendant plusieurs heures et disparaissent ensuite sensiblement sous l'influence de quelques soins appropriés. (T. IV, p. 258.)

Cette curieuse série de symptômes d'une apparence si redoutable et qui cependant n'ont jamais amené d'accident grave, éveillèrent dans l'esprit de M. Liguistin l'idée d'un empoisonnement. Tous ses collègues ne partageaient pas son avis : « quelques-uns expliquaient les accidents dont il s'agit en faisant jouer à la raréfaction de l'air un rôle considérable, asphyxie lente.... »

M. Liguistin lui-même reconnaît que cet élément doit posséder un rôle étiologique important :

Certes, il n'est pas douteux, dit-il en effet, qu'à l'époque où nous sommes passés au Rio-Frio, époque des grandes chaleurs, il n'est pas douteux, dis-je, qu'une élévation considérable de la température amenant une raréfaction évidente de l'air, jointe à une élévation du sol de 3302 mètres au-dessus du niveau de l'Océan et produisant, par ce fait même d'altitude, une diminution de 3 kilomètres et demi dans la hauteur de la colonne atmosphérique, n'ait eu pour conséquence immédiate de diminuer d'une manière sensible la quantité d'air respirable et de produire des accidents inhérents à ce genre de causes. Nous aurions voulu pouvoir constater ce fait physique sur le baromètre, pendant les différents états de l'atmosphère ; car seul il eût fourni l'explication réelle des tympanites qui se sont manifestées aussi sur les animaux du corps expéditionnaire lors de notre passage au Rio-Frio. Cependant, bien que cette raréfaction n'ait pas été démontrée expérimentalement, son existence n'en est pas moins indéniable.

A Mexico, il a été constaté que la pression atmosphérique ne s'élevait qu'à 58 degrés. On peut donc l'évaluer approximativement pour le Rio-Frio à 55 ou 56, ce qui produirait encore une diminution de 20 degrés sur la pression normale de l'atmosphère. Est-il irrationnel de supposer, après cela, que les animaux ne peuvent être placés, ne fût-ce qu'un instant, dans un pareil milieu, sans que leur organisme en ressente quelques effets ? Évidemment non ; et nous avons tous été les témoins affligés, mais non surpris, de l'action pernicieuse qu'une atmosphère, ainsi raréfiée, peut produire sur la santé des grands solipèdes, je veux parler de cette deuxième scène pathologique dont l'apparition s'est plus particulièrement manifestée encore au Rio-Frio et qui a amené un instant de trouble et de confusion (indigestion avec ballonnement.) (T. IV, p. 262.)

En définitive, M. Liguistin persiste dans l'idée d'un empoisonnement, dont il explique l'innocuité par la neutralisation partielle produite par d'autres plantes simultanément ingérées. A force de recherches sur le terrain, on finit par trouver une sorte de scille, à laquelle on attribua les accidents. Des expériences faites avec les

feuilles suspectes ne donnèrent cependant qu'un résultat intéressant : le ferme refus des chevaux d'y goûter, même après 48 heures de jeûne. Quant aux empoisonnements obtenus par l'extrait aqueux, ingéré de force aux animaux, ils ne ressemblent en rien aux symptômes observés pendant le passage du Rio-Frio. D'où nous concluons, à l'inverse de notre auteur, que ces accidents étaient dus exclusivement à l'air raréfié.

J'arrive maintenant à l'article de M. Leroy de Méricourt[1], article auquel le nom et la compétence spéciale de son auteur donnèrent beaucoup de crédit, et que l'on cite encore incessamment.

Il ne contient cependant aucune observation personnelle, et la seule idée vraiment originale qu'on y rencontre est due au professeur Gavarret; mais il reproduit, dans un style élégant, un résumé des faits antérieurement observés, des doctrines émises. La partie la plus intéressante consiste en une critique très-vive des travaux et des opinions de M. Jourdanet, qu'il considère comme complétement vaincu par Coindet. Selon lui :

Le dosage de l'acide carbonique de l'air expiré, comme indicateur du degré d'énergie de l'hématose sur les hauteurs de plus de 2000^{m}, a montré que la moyenne d'exhalation de ce gaz n'est pas moindre de ce qu'elle est au niveau des mers.

Nous avons montré plus haut ce qu'il faut penser de cette assertion, à laquelle les chiffres mêmes de Coindet donneraient un démenti beaucoup trop complet selon nous.

Puis, rencontrant la comparaison établie par M. Jourdanet entre le mal des montagnes et la saignée, et exprimée en ces termes si saisissants et si exacts : « Une ascension au delà de 3000^{m} équivaut « à une désoxygénation barométrique du sang, comme une saignée « est une désoxygénation globulaire, » M. Leroy de Méricourt ne trouve rien de mieux à faire que de la qualifier d'*étrange :*

« D'ailleurs, dit-il, *a priori*, on peut objecter à M. Jourdanet que l'absorption de l'oxygène par le sang veineux n'est pas un fait purement physique, le résultat d'une simple dissolution, mais que les forces chimiques jouent un rôle important dans cette fixation de l'oxygène. »

J'ai tenu à rapporter cette opinion parce qu'elle indique bien quel était, en 1866, le sentiment des hommes les plus instruits et les plus autorisés. Il faut s'attendre, en effet, à ce que la théorie

[1] Article *Altitudes* du *Dictionnaire encyclopédique des Sciences médicales.* — Paris, 1866.

qu'a émise M. Jourdanet, et dont j'ai démontré expérimentalement l'exactitude, sera bientôt considérée comme une chose tellement simple et évidente que chacun en réclamera la paternité ou tout au moins lui refusera tout mérite d'originalité.

J'arrive au passage dû à la plume de M. Gavarret.

Après avoir rappelé quelques principes de physique élémentaire, le savant professeur de la Faculté de Paris continue en ces termes :

Lorsqu'il monte, *à pied*, sur une haute montagne, l'homme accomplit une quantité de travail mécanique qui varie avec le poids de son corps, la hauteur d'ascension, la nature et la disposition du terrain sur lequel il marche. A la force mécanique qu'il dépense ainsi correspond une consommation d'une quantité déterminée des matériaux organiques de son sang, dont la combustion ne produit aucun effet thermique. Indépendamment de la quantité de chaleur nécessaire au maintien de sa température propre, les combustions respiratoires doivent donc fournir l'*équivalent calorifique* de la force mécanique dépensée pendant l'ascension. Pour bien saisir les conséquences de cet accroissement forcé de l'activité respiratoire, fixons notre attention sur un exemple déterminé.

Un homme adulte, bien constitué, du poids de 75 kilogrammes, s'est élevé, *à pied*, à 2000 mètres de hauteur sur les flancs d'une montagne. Il a effectué ainsi un travail *utile* de 150 000 kilogrammes, représentant 353 unités de chaleur, dont l'effet thermique est *nul*, *transformées tout entières* en force mécanique, et fournies par les combustions respiratoires. Les *huit dixièmes* de cette chaleur *transformée* provenant de la combustion du carbone, la création de la force mécanique correspondant au travail *utile* accompli pendant l'ascension, nécessite la production de 65 litres d'acide carbonique, en sus de 22 litres de ce gaz que l'homme forme, par heure, dans ses capillaires généraux pour maintenir sa température propre. Les conséquences de la production d'une aussi grande quantité d'acide carbonique dans l'économie se présentent d'elles-mêmes. La consommation des matériaux organiques du sang est excessive, et les forces s'épuisent très-rapidement. Les mouvements respiratoires et circulatoires s'accélèrent considérablement, d'une part, pour rendre possible l'absorption de tout l'oxygène nécessaire à des combustions si actives ; d'autre part, pour débarrasser le sang d'une telle proportion d'acide carbonique dissous. Lorsque la marche est lente, la force dépensée, dans un temps donné, est faible, et les troubles fonctionnels ne sont pas considérables.

Mais si l'ascension s'opère rapidement, l'exhalation gazeuse, bien que très-activée, n'est plus suffisante pour maintenir la composition normale du sang qui reste saturé d'acide carbonique ; alors la respiration devient anxieuse ; la dyspnée devient extrême, et s'accompagne de céphalalgie, de vertiges et de somnolence. On comprend encore facilement pourquoi une halte de quelques instants suffit pour faire disparaître tous ces accidents.

Du moment où l'homme est au repos, la dépense de force cesse, l'activité des combustions respiratoires s'abaisse rapidement au degré strictement nécessaire au maintien de sa température propre, la production de l'oxygène n'est plus que de 22 litres par heure, le sang se débarrasse très-vite de l'excès d'acide carbonique qu'il contient, et tous les troubles des fonctions respiratoires et circulatoires disparassent en même temps. . . . .

Comme conséquence de ces considérations, nous nous croyons autorisé à dire

que la majeure partie des troubles fonctionnels caractéristiques du *mal des montagnes* doit être rapportée à une véritable intoxication par l'acide carbonique dissous en trop forte proportion dans le sang. Pour dire ici toute notre pensée, nous ajouterons qu'une intoxication de même nature, résultat nécessaire d'une dépense de force excessive, est une des principales causes des accidents graves observés chez les *animaux surmenés*.

Cette théorie curieuse et originale, étayée de calculs indiscutables et de la grande autorité du savant professeur de physique médicale, devait obtenir un grand succès et faire époque dans la science. Dorénavant, chacun la répétera à l'envi ; c'est ce que fait tout d'abord, dans sa thèse inaugurale, le Dr Aug. Dumas[1].

Mais la théorie de M. Gavarret ne lui suffit pas ; il accepte et appuie de calculs fort bien conduits, du reste, les théories des frères Weber sur la tendance de la tête du fémur à se séparer de la cavité cotyloïde dans l'air dilaté. Les objections de M. Jourdanet ne le touchent pas, comme on voit. C'est qu'il n'attache pas grande importance aux travaux de ce savant médecin ; à ses yeux, Coindet a fait bonne et complète justice d'assertions erronées :

Que devient donc maintenant, s'écrie-t-il, la prétendue insuffisance d'oxygénation du fluide sanguin sur les altitudes ? et que dire de toutes les théories que M. Jourdanet a basées sur ce fait ?

Quant aux maux de tête, vertiges, pertes de connaissance, éprouvés par de Humboldt et autres voyageurs, Dumas les explique « d'une manière toute mécanique » ; à vrai dire, il ne fait que reproduire une explication déjà donnée par Pravaz (p. 251) :

Barry a démontré qu'à chaque expiration, le cours du sang est ralenti dans les veines jugulaires. Cela étant, il est facile de comprendre comment, chez un individu parvenu au sommet d'une haute montagne, où sa respiration gênée oblige son thorax à des mouvements précipités, son sang veineux éprouve une stase dans les jugulaires et même un reflux pouvant déterminer une congestion des centres nerveux et tous les accidents qui en dépendent.

M. Scoutetten[2], qui écrivait l'année suivante, se contente de reproduire les parties principales de l'article *Altitudes*, et notamment la citation de M. Gavarret, dont il adopte entièrement l'opinion.

Comme il paraît en outre attacher beaucoup d'importance aux variations du poids supporté par le corps humain sous les diverses

[1] *Étude de quelques-unes des variations que l'altitude fait sentir à l'air ambiant et de l'influence de ces variations sur l'homme.* — *Thèse de Paris*, 1866.

[2] *Influence de l'altitude des lieux sur les fonctions physiologiques.* — Paris, 1867

pressions barométriques, il a pris la peine de dresser un long tableau où se trouvent enregistrées les valeurs de ce poids, dans toutes les stations d'eaux minérales.

On apprend ainsi qu'un homme qui supporte, au niveau de la mer, 15 345 kilogrammes, est soulagé de 406 kil. à Vichy, de 1015 à Saint-Gervais, de 1905 au Mont-Dore, de 2744 à Cauterets, la plus élevée des eaux thermales.

Est-ce dans cet ordre d'idées que se place un auteur dont les *Comptes rendus* pour 1867 publient une note qui ne brille pas par la clarté? Je l'ignore et laisse au lecteur le soin d'en décider[1] :

> M. Kaufmann soumet au jugement de l'Académie un mémoire sur l'influence mécanique de l'air dans quelques fonctions physiologiques où on ne la fait pas d'ordinaire intervenir.
>
> Pour reconnaître, dit l'auteur, l'influence mécanique exercée sur diverses parties de l'organisme par la pression de l'air, j'ai institué des expériences aérométriques ; les unes, dans lesquelles je mesurais les oscillations produites dans divers états physiologiques ou pathologiques par la variation de pesanteur de l'atmosphère ; les autres dans lesquelles j'ai produit artificiellement ces variations. Celles dont je soumets aujourd'hui les résultats à l'Académie se rapportent aux diverses périodes de la génération chez les mammifères, depuis le moment de conception jusqu'à l'accomplissement du part.

Dans le livre qu'il publia lors de son retour en France, Coindet[2] revint sur la question de la quantité d'acide carbonique formée par les hommes qui vivent sur les hauts plateaux. Evidemment il se sentait mal à l'aise sur ce terrain, car dans un ouvrage en deux volumes, contenant plus de 650 pages, il n'en consacre que 5 à cet important sujet. Et cependant, qu'y aurait-il eu de plus probant en faveur de sa thèse, que d'insister sur cette démonstration que les combustions intrà-organiques sont aussi énergiques sur les hauteurs qu'au niveau de la mer? L'anoxyhémie, qu'il a voulu combattre, s'en trouverait réduite à néant. J'avoue que je pensais trouver d'abord dans ce livre des expériences nouvelles; il n'en est rien, et l'exposé des faits y est infiniment moins complet et moins détaillé que dans les lettres adressées à Michel Lévy.

Ceci s'explique bientôt, car nous enregistrons d'abord un aveu précieux ; « c'est par erreur, dit Coindet (t. II, p. 90), que j'ai écrit ailleurs poids au lieu de volume. » Voilà donc un fait acquis, et, comme je l'avais montré en rappelant le passage copié dans Béclard,

[1] Kaufmann, *Cpt. R. de l'Acad. des Sciences*, t. LXV, p. 317, 1867.

[2] *Le Mexique considéré au point de vue médico-chirurgical.* — Paris, t. I, 1867 ; t. II, 1868.

les fameux 4,51 p. 100, représentaient pour Coindet en 1864 une proportion en volume, bien qu'il ait dit le contraire dans sa lettre de 1865. Mais alors, s'il y a dans l'air 4,51 pour 100 d'acide carbonique en volume, puisque les hommes en expérience respiraient à raison de 6 litres par minute, soient 360 litres à l'heure, cela fait, en une heure, 360 lit. $\times$ 4,51 $=$ 16^{lit},23 d'acide carbonique expiré.

Or, comme on opère à 14° et à 58^c, ce volume correspond, à 0° et à 76^c, à 11^{lit},77 ; et comme un litre pèse 1^g,966, la production d'acide carbonique par heure serait 23^{g}14, donnant en définitive 6^{g}40 de carbone brûlé. Nous voici, encore une fois, bien loin des 12^{g}30 qu'annonçait triomphalement Coindet.

Mais celui-ci se ravise :

Il ne faut pas perdre de vue, dit-il, que 4,52 pour 100 en volume, moyenne d'acide carbonique exhalé en une minute, ont été extraits d'un air à 14° temp., 58^c pression, *ramené* à 0° temp., 76^c pression.... de sorte que 6^l,125, moyenne d'air expiré en une minute, en laissant de côté les Français nouvellement arrivés, non acclimatés, nous donnent 367^l,55 en une heure. . . . .

La moyenne de 4,52 pour 100 d'acide carbonique exhalé en une minute étant admise, nous pouvons établir la proportion suivante :

100 : 4,52 :: 367,55 : x = 16^l,62 d'acide carbonique à l'heure.

Or, au niveau de la mer, 1^l,85 d'acide carbonique renferme 1^g de carbone, ce qui nous donne 9^g, très-approximativement brûlé en une heure. . . . . .

Ce chiffre est encore fort différent des 12^g,30 du premier travail. Et cependant comment est-il obtenu? D'abord en portant de 6 litres à 6^l,125 la quantité d'air expiré; puis en déclarant que, dans les calculs, l'air a été ramené à 0° et à 76^c; mais Coindet oublie qu'il a dit autrefois absolument le contraire :

J'ai prouvé que le volume 3,90 pour 100 d'air à 14° et à 58^c que me donnait le poids (n'oublions pas que maintenant c'est le volume) 4,51 d'air aussi à 14° et à 58^c....

Dans un autre passage, il n'est pas moins explicite :

La quantité d'air expiré à la minute admise par M. Dumas étant de 5^l,3 au niveau des mers, nous avons à Mexico.... 6 litres environ. Ceci devait être, car l'air des altitudes renfermant sous un volume donné moins d'oxygène, il était nécessaire d'absorber une plus grande quantité de cet air pour compenser la différence.

Ce n'est donc pas, dans notre opinion, 9 grammes, mais bien 6^g,40 de carbone brûlé en une heure, que donnent les chiffres mêmes de Coindet. Mais enfin, même avec 9 grammes, il faut pourtant bien reconnaître qu'on est fort au-dessous du nombre moyen

$12^g,2$ trouvé par Andral et Gavarret. Coindet ne peut le dissimuler, mais il n'en paraît pas le moins du monde ébranlé :

Notre moyenne 9^g, dit-il imperturbablement, inférieure à celle trouvée par les auteurs, ne fait pas, *par les motifs cités plus haut*, que nous considérions les combustions respiratoires carbonées, comme sensiblement moindres sur les hauts plateaux qu'elles ne le sont à des niveaux plus bas.

Quels sont donc ces motifs? C'est, voyons-nous, que

Nos créoles étaient des élèves de l'École des mines, à la veille de leurs examens de fin d'année, assis et absorbés toute la journée par l'étude, circonstances dans lesquelles l'air expiré est peu altéré ;

C'est que

Les Indiens recevaient une alimentation insuffisante et qu'ils faisaient un usage habituel des alcooliques ;

C'est que

Il y avait *des pertes par les narines !*

Je pense qu'il serait oiseux d'insister davantage. Je ne puis que répéter ce que je disais plus haut : il ne reste rien, absolument rien, au point de vue chimique, du travail de Coindet ; et comme les expériences dont nous venons de montrer le peu de solidité sont la base de toute son argumentation physiologique, on voit que celle-ci ne supporte pas l'examen.

Je n'aurais certes pas si longuement parlé d'un travail autour duquel on a fait beaucoup trop de bruit, s'il n'était encore cité comme une autorité par des personnes qui ont préféré s'en rapporter à des conclusions tranchantes, plutôt que de se livrer à l'analyse pénible à travers les méandres de laquelle nous avons conduit nos lecteurs. Ceux-ci auront pu voir que si les assertions *à priori* et les affirmations des conclusions sont claires, tout est obscurité, confusion ou erreur dans les expériences elles-mêmes et dans les calculs auxquels elles servent de base.

M. Gavarret[1] ne s'en est pas tenu à la théorie que nous avons rapportée plus haut, et qu'il avait donnée comme une sorte de consultation à M. Leroy de Méricourt. En rédigeant l'article *Atmosphère*, du *Dictionnaire encyclopédique*, il a été conduit à examiner les effets de la diminution de pression, indépendamment des surcroîts de fatigue, d'efforts, de production d'acide carbonique, qu'im-

[1] Article *Atmosphère*. — *Dictionn. encyclopédique des Sciences médicales*. — Paris, 1867 ; p. 111-164.

posent les ascensions de montagne. Arrivant à l'étude des causes, il commence par combattre, en physicien expérimenté, l'opinion que le poids moindre supporté par le corps puisse avoir une influence quelconque; il invoque justement contre cette erreur le principe de l'incompressibilité des liquides et, par suite, du corps. Mais, fixant son attention sur ce point, il revient, chose bien curieuse, aux idées de Robert Boyle :

La perturbation dont s'accompagne l'abaissement de la colonne barométrique est en réalité un effet des pressions de dedans en dehors exercées par les vapeurs et les gaz emprisonnés dans l'économie.... Nous devons fixer notre attention sur les gaz du sang qui, sous l'influence d'un abaissement considérable et très-rapide de la colonne barométrique, peuvent déterminer des accidents graves. Le sang, en effet, renferme à l'état de simple dissolution de l'oxygène, de l'azote, de l'acide carbonique. Au moment où la pression extérieure diminue, ces gaz tendent à se dégager du liquide sanguin, refoulent les parois des vaisseaux de dedans en dehors et distendent les capillaires pulmonaires et généraux dont les parois minces et peu résistantes, peuvent se rompre. Tel est le mécanisme de production d'hémorrhagies tantôt légères et passagères comme leur cause déterminante quand elles apparaissent sur les surfaces extérieures, tantôt graves et même mortelles quand elles ont pour siége la profondeur de quelque viscère important. (P. 153.)

Mais M. Gavarret se hâte d'apporter à ceci une juste restriction :

Des accidents de cette nature peuvent sans doute se produire chez les individus qui sont très-rapidement transportés à de grandes altitudes; mais il n'en est pas de même des voyageurs qui, graduellement, s'élèvent des bords de la mer jusque sur les plus hauts plateaux du globe. Chez ces derniers, les lois physiques des gaz et de leur solubilité.... rétablissent l'harmonie.... (P. 154.)

En d'autres termes, l'explication donnée par le savant professeur ne peut, selon lui, s'appliquer qu'aux expériences de laboratoire exécutées sur des animaux; les ascensionnistes, les aéronautes eux-mêmes n'en sauraient être justiciables.

L'argumentation dirigée par M. Gavarret contre le rôle que tant d'auteurs avaient fait jouer à la diminution du poids supporté par le corps, semblait avoir fait justice de cette erreur; les expériences importantes de Rudolph von Vivenot[1] ont semblé au contraire lui redonner une autorité nouvelle. En effet, le médecin viennois établit avec la plus grande netteté que, dans l'air raréfié, l'amplitude des inspirations, la capacité respiratoire, diminuent considérablement.

Ces expériences furent faites à l'établissement de Johannisberg, dans les appareils établis par le Dr Lange; les unes ont eu

[2] *De l'influence de la compression et de la raréfaction de l'air sur les actes mécaniques de la respiration.* Traduction de Thierry-Mieg. — *Gaz. méd. de Paris,* 1868.

pour but l'étude de l'air comprimé, nous nous en occuperons plus tard; les autres, celles dont nous parlerons ici étaient relatives à l'air raréfié.

En tenant compte de l'altitude de Johannisberg, où la hauteur moyenne du baromètre est de 742mm, on voit que, la dépression obtenue dans l'appareil étant 318mm, la pression réelle était 434mm, ce qui correspond à une hauteur de 4470m au-dessus du niveau de la mer.

Dans ces conditions, comme je le rappelais il y a un moment, l'amplitude des respirations a beaucoup diminué :

Les Drs Lange et Mittermaier, dont la capacité pulmonaire avait été peu avant sous la pression normale de 3942cc et de 4237cc ne pouvaient qu'avec les plus grands efforts expirer 3448 et 3843cc d'air qui était reçu dans les récipients du spiromètre. Leur capacité respiratoire était donc diminuée respectivement de 494 et de 394cc. En moyenne, nous pouvons déduire des chiffres ci-dessus, comme capacité respiratoire moyenne normale 4090cc, comme respiration sous l'air raréfié 3646cc, par conséquent comme diminution moyenne de la capacité pulmonaire 444cc, à quoi il faut ajouter que ces 3646cc d'air raréfié ne représentent que 2084cc d'air normal. (P. 7 du tirage à part.)

La fréquence des respirations a, en sens inverse, notablement augmenté :

Le nombre des inspirations a monté chez moi de 14-15 à 18; chez M. de G..., de 17 à 21, une autre fois de 17-18 à 19; chez le Dr Lange de 15 à 21; chez le Dr Mittermaier de 7, 5 à 9, 5 par minute. Quant à la durée consécutive de cet effet, elle n'a pu être constatée, les expériences dans l'air raréfié n'ayant pas été faites avec suite. (P. 11.). . . . .

Quant à la profondeur et au rhythme de la respiration dans l'*air raréfié*, on y remarque *une augmentation dans la profondeur des inspirations*. Ceci est donc le premier cas où l'effet de l'air raréfié semble concorder avec celui de l'air comprimé, bien que les causes soient opposées. Tandis que dans l'air comprimé il y a spontanément, comme effet mécanique de l'augmentation de pression, une inspiration plus profonde; c'est au contraire le besoin d'avoir de l'air qui, ne pouvant être satisfait dans l'air raréfié par des inspirations normales, y produit nécessairement des inspirations profondes et forcées. On y éprouve en même temps un sentiment de malaise, d'oppression, pendant lequel c'est surtout l'inspiration qui est rendue difficile, parce que, même dans l'air atmosphérique, elle exige plus de force que l'expiration, tandis que celle-ci, dans l'air raréfié, se fait plus facilement et plus vite. (P. 16.)

Vivenot a fait également des observations sur les pulsations. Leur nombre a passé de 78 à 80 chez le Dr M., de 73 à 82 chez le Dr L., de 61 à 76 chez M. de G., de 80 à 105 chez Vivenot lui-même.

Un vétérinaire du corps royal du génie anglais, Flemeing[1], publia

[1] *De l'Influence de la pression atmosph. et de l'altitude sur la santé et les maladies de l'homme et des animaux.* Trad. par Ringuet. — Périgueux, 1869.

en 1867, un travail où se trouvent relatées un assez grand nombre d'observations de voyageurs, et en tête duquel il exprime son opinion théorique sur l'action de la décompression :

Si la pression est réduite artificiellement, comme lorsqu'on gravit une montagne ou que l'on s'élève en ballon, on constate les mêmes phénomènes que chez les poissons arrachés de l'eau.

Le corps se gonfle, les fluides intérieurs distendent les tissus en dehors, exercent sur eux une pression énergique, font éclater les vaisseaux et souvent des hémorrhagies se produisent.

Un air raréfié contient, sous un volume donné, moins d'oxygène, de telle sorte que la respiration, se faisant incomplétement, s'accélère pour suppléer à cette imperfection ; les inspirations sont proportionnellement plus nombreuses ; le cœur se contracte avec force et plus fréquemment, le sang circule avec difficulté, les poumons s'engorgent, les vaisseaux sanguins se distendent et des anévrysmes se forment. (P. 9.)

En résumé, suivant Flemeing, l'influence de l'altitude peut se produire de plusieurs manières :

1° Par la diminution de la pression atmosphérique : les muscles et les articulations tendent à se relâcher, le sang s'arrête ou transsude à travers les parois des vaisseaux, surtout de la muqueuse aérienne, du poumon, des enveloppes du cerveau.

2° Par l'évaporation cutanée et pulmonaire. . . . .

3° La fréquence de la circulation et de la respiration est contrebalancée, ou mieux déterminée par les petites quantités d'oxygène que l'air inspiré contient.

4° La température abaissée. . . . .

5° Les rayons solaires plus énergiques.... qui provoquent l'irritation des yeux, du cerveau, de la moelle épinière. (P. 12.)

M. Bouchard, dans sa remarquable thèse sur la pathogénie des hémorrhagies[1], est amené à s'expliquer sur la cause de ces accidents, signalés à la fois chez les personnes soumises à une forte diminution de pression, et chez les ouvriers qui se décompriment au sortir des piles de pont. Pour lui, comme nous le verrons en temps utile, les hémorrhagies sont dues pour partie au dégagement dans les vaisseaux de l'acide carbonique du sang, qui s'y est emmagasiné en proportion exagérée pendant la compression.

La décompression par ascension produirait le même effet ; et si les hémorrhagies ont été signalées surtout chez les voyageurs en montagne, la théorie qu'il propose peut expliquer la différence de ces effets :

L'homme qui se laisse emporter par un aérostat, ne fait guère que le travail

[1] *Thèses du Concours d'agrégation* — Paris, 1869.

nécessaire aux mouvements respiratoires. Celui qui gravit une montagne élevée fait, au contraire, une dépense musculaire considérable et doit surcharger son sang d'acide carbonique. N'est-ce pas d'ailleurs à cette accumulation d'acide carbonique dans le sang que quelques auteurs attribuent cet état vertigineux singulier qu'on appelle le mal des montagnes? (P. 102.)

Les erreurs ont la vie dure. Il est curieux d'avoir à constater que malgré la péremptoire réponse faite par M. Jourdanet à la théorie des Weber, celle-ci a continué d'être professée presque universellement. M. Béclard[1], dans la dernière édition d'un livre qui doit être entre les mains de tous les étudiants, dit en effet :

Lorsque l'homme s'élève dans l'air, en gravissant *à pied* de très-hautes montagnes, il éprouve, à mesure que la raréfaction de l'air augmente, un sentiment tout particulier. Il lui semble que ses membres sont *plus lourds;* les membres inférieurs, en particulier, deviennent bientôt le siége d'une fatigue qui invite au repos. A peine s'est-il arrêté un instant, que cette fatigue disparaît pour reparaître au bout de peu de temps ; et ainsi de suite. Voici, en effet, ce qui arrive : la pression atmosphérique n'est plus suffisante, à elle seule, pour maintenir appliquée la tête du fémur contre la cavité cotyloïde, et faire ainsi équilibre au poids du membre inférieur, l'action musculaire intervient pour maintenir le membre dans ses rapports articulaires. Cette action musculaire inusitée est promptement suivie du besoin de repos des muscles. . . . .

Cette influence se fait sentir, même pour des différences de pression peu considérables de la colonne barométrique. Dans les abaissements du baromètre, les muscles ayant à mouvoir des organes plus pesants, on dit alors que le temps est *lourd*, quoique en réalité la pression exercée sur la surface du corps par la colonne atmosphérique soit moindre. De même, lorsque le baromètre monte, les mouvements s'exécutent avec une plus grande facilité. (P. 697).

Quant aux accidents de la décompression autres que la lourdeur des membres, M. Béclard ne leur attribue aucune importance quand les transitions sont un peu ménagées :

A Potosi (4000^{m}), à Déba (5000^{m})... les fonctions de nutrition, de respiration, de circulation des habitants de la montagne s'accomplissent comme chez les habitants de la plaine, et ils ne sont pas moins bien portants. . . . .

L'homme et les animaux peuvent donc supporter des variations de pression très-étendues, sans que les fonctions de la vie en souffrent. Il est vrai que la densité de l'air étant diminuée, l'air introduit dans le poumon contient, à chaque inspiration, moins d'oxygène sous le même volume que dans la plaine ; mais les mouvements de la respiration s'harmonisent avec ces conditions nouvelles. D'ailleurs la pression s'exerce encore dans *tous les sens*, l'air pénètre, dans toutes les cavités ouvertes (voies digestives, voies respiratoires), les gaz du sang se mettent en équilibre de tension avec l'air atmosphérique, et les conditions normales de l'échange gazeux ne se trouvent pas changées dans les poumons.

Les variations de pression du milieu atmosphérique dans les ascensions sur les montagnes, ou dans les ascensions aérostatiques, ne sont généralement pas de na-

[1] *Traité élémentaire de physiologie,* liv. II, ch. I, § 244, 6e édit.; Paris, 1870.

ture, non plus, à produire d'accidents fâcheux du côté des fonctions de nutrition.

Mais il en est autrement lorsque la décompression s'opère rapidement comme il arrive dans les ascensions aérostatiques :

Il faut alors un certain temps pour que l'équilibre entre les gaz intérieurs et les gaz extérieurs s'établisse. Lorsque l'ascension a été très-considérable, il se manifeste quelquefois une certaine difficulté de respirer, des étouffements (par dilatation des gaz intestinaux qui pressent sur les poumons, en refoulant en haut le diaphragme) et des hémorrhagies locales sur les membranes muqueuses (probablement par distension brusque des gaz contenus dans les vaisseaux, et par rupture des capillaires). (P. 696.)

A côté des idées des médecins théoriciens, il convient de placer l'opinion exprimée par les ascensionnistes en montagne. Après les théories et les discussions dont nous venons de rendre compte, ce n'est pas sans quelque étonnement que nous voyons certains voyageurs nier presque l'influence de la décompression.

Ainsi, Hudson[1] qui, dédaignant « la route battue et facile qui conduit d'ordinaire au mont Blanc, » fit l'ascension de la montagne par une route nouvelle, en partant de Saint-Gervais, affirme que :

Si l'on a soin de ménager ses forces, on peut parcourir les plus hautes sommités sans éprouver d'incommodité grave. Plusieurs personnes se sont plaintes du malaise éprouvé à ces grandes hauteurs, nausées, assoupissement, saignement de nez, des yeux et des oreilles, et je ne doute pas que de tels accidents ne soient possibles; mais ma longue habitude des courses de montagne m'a prouvé qu'ils ne devaient être attribués qu'à la fatigue, à laquelle sans doute peuvent se joindre le froid et la rareté de l'air, ou plutôt les précautions inusitées qu'exigent ces deux circonstances. En effet, nous nous trouvions là réunis cinq personnes, et, uniquement grâce au soin de ne pas nous fatiguer, aucun de nous n'eut un instant de malaise; il en avait été de même lors de mon ascension au mont Rose. (P. 85.)

Le Dr Piachaud[2], dont nous avons résumé précédemment les intéressantes observations, faites pendant son ascension au mont Blanc en 1864, n'attribue aussi qu'à la fatigue les troubles de la circulation et de la respiration; selon lui, la somnolence est due au froid, la fatigue musculaire à la cause indiquée par Brachet, et la pesanteur des muscles inférieurs à celle qu'ont invoquée Weber et de Humboldt.

Mais ces appréciations, peu originales, n'ont guère d'importance à côté de la théorie toute nouvelle et fort ingénieuse qu'émit le

[1] *Une Ascension au mont Blanc.* — *Bibl. univ.*, 4e série, t. XXXI, p. 79-95, 1856.
[2] *Loc. cit.* : *Bibl. univ.;* 1865.

Dr Lortet[1]. Nous avons longuement rapporté (voy. p. 117) les observations faites avec toute la précision qu'exigent les recherches physiologiques modernes par ce savant médecin, pendant son ascension du mont Blanc. Celle de ses constatations à laquelle il attache le plus d'importance, c'est la diminution de la température du corps pendant l'acte de l'ascension. Là se trouve, selon lui, la cause véritable des malaises éprouvés, et pour l'expliquer elle-même, M. Lortet s'appuie sur les notions élémentaires de la théorie mécanique de la chaleur :

A l'état de repos et à jeun l'homme brûle les matériaux de son sang, et la chaleur développée est employée tout entière à maintenir sa température constante au milieu des variations de l'atmosphère. — En plaine et par des efforts mécaniques modérés, l'intensité des combustions respiratoires, comme l'a montré M. Gavarret, augmente proportionnellement à la dépense des forces. Il y a *transformation de la chaleur en force mécanique*, mais à cause de la densité de l'air et de la quantité d'oxygène inspiré il y a assez de chaleur formée pour subvenir à cette dépense.

Dans la montagne, surtout à de grandes altitudes et sur des pentes neigeuses très-raides, où le travail mécanique de l'ascension est considérable, il faut une quantité de chaleur énorme pour être transformée en force musculaire. Cette dépense de force *use plus de chaleur que l'organisme ne peut en fournir*, de là le refroidissement sensible du corps, et ces haltes fréquentes qu'il faut faire pour *se réchauffer*. Quoique le corps soit brûlant, quoiqu'il soit souvent tout en transpiration, il se refroidit en montant, parce qu'il use trop de chaleur et que la combustion respiratoire ne peut en fournir une quantité suffisante à cause du peu de densité de l'air; cette raréfaction de l'air fait qu'à chaque inspiration il entre dans les poumons moins d'oxygène à une grande hauteur que dans la plaine. (P. 33).

M. Lortet montre alors, par un calcul simple, que pour s'élever de 1000m, un homme pesant 75 kil. verrait la température de son corps s'abaisser de 2°,3, s'il ne fournissait aucune chaleur réparatrice. Il tire de là cette conséquence que l'abaissement de 4 à 5°, qu'il a constaté en montant à 3800m, est tout naturel et dans les limites indiquées par sa théorie :

Prenons pour exemple un corps humain pesant 75 kilogrammes, et supposons que pendant l'ascension, aucune combustion ne vienne rétablir la perte de chaleur subie; supposons encore que tout le travail mécanique soit utilement employé, c'est-à-dire qu'il n'y en ait aucune partie de perdue en glissades, en faux pas, etc.

Lorsque le corps se sera élevé de 1000 mètres, la quantité de travail accompli sera représentée par 75×1000 ou 75,000 kilogrammètres.

Comme l'équivalent mécanique de la chaleur est de 425 kilogrammètres pour

[1] *Loc. cit. : Deux ascensions*, etc.; 1869.

chaque unité de chaleur, pour avoir la quantité de chaleur absorbée pendant ce travail d'ascension de 1000 mètres nous aurons $\frac{75,000}{425} = 176$ unités de chaleur. Si nous admettons que la chaleur spécifique du corps humain soit égale à celle de l'eau, c'est-à-dire égale à 1, et si nous représentons cette chaleur spécifique par C ; si nous nommons X l'abaissement de température du corps, nous aurons : quantité de chaleur perdue par le corps $= 75\,(C + X)$ ou $176 = 75 \times X$, d'où $X = \frac{176}{75}$, ou $X = 2,3$.

Donc l'abaissement de température du corps résultant de la chaleur absorbée par un travail de 75,000 kilogrammètres, effectué dans une ascension de 1000 mètres, serait de 2°,3 centigrades, en supposant qu'aucune combustion ne vînt réparer, au moins en partie, cette perte de chaleur. Mais il est évident qu'en réalité cette combustion existe et qu'une partie de la chaleur dépensée est reconstituée au fur et à mesure de son absorption. Mais nous avons vu, par l'étude que nous avons faite des troubles respiratoires et circulatoires, combien cette combustion est gênée à une certaine altitude, et combien elle est incomplète.

De plus il est évident aussi que toute la force dépensée est loin d'être utile à cause des faux pas et de la mollesse des neiges. La quantité de chaleur usée doit donc être énorme, le refroidissement considérable et difficilement combattu par la combustion respiratoire.

On voit donc, ces divers éléments du problème étant bien pesés, que ce refroidissement de quatre degrés centigrades et quelques dixièmes, pour l'ascension du mont Blanc, n'est nullement extraordinaire puisque ce chiffre donne un degré centigrade et quelques dixièmes par mille mètres d'élévation, quantité très-rapprochée de 2°,3 centigrades que nous donne la théorie physique, lorsqu'on ne tient pas compte des combustions respiratoires. (P. 36). . . . .

Cependant quand on est en état de digestion, le refroidissement devient presque nul, probablement à cause de l'accélération de la circulation soit générale, soit capillaire, et peut-être aussi à cause d'une absorption extrêmement rapide des matières alimentaires. C'est ce qui explique l'habitude pratique qu'ont les guides de faire manger toutes les deux heures environ. Malheureusement à partir de 4500 mètres, l'inappétence devient telle qu'il est presque impossible d'avaler quelques bouchés de nourriture. (P. 37).

A cette cause dominatrice s'en adjoignent d'autres sur lesquelles insiste M. Lortet. D'abord :

La rapidité de la circulation est encore une cause de refroidissement, le sang n'ayant pas le temps de s'oxygéner convenablement dans les vésicules pulmonaires. (P. 34).

En outre, comme l'a montré M. Gavarret :

La création de la force mécanique correspondant au travail *utile,* accompli pendant l'ascension nécessite la production de 65 litres d'acide carbonique en sus de 22 litres de ce gaz que l'homme forme, par heure, dans ses capillaires pour maintenir sa température. Les conséquences de la production d'une aussi grande quantité d'acide carbonique dans l'économie se présentent d'elles-mêmes.

A une grande hauteur, les mouvements respiratoires et circulatoires s'accélèrent

non-seulement pour rendre possible l'absorption d'une quantité convenable d'oxygène, mais aussi pour débarrasser le sang de l'acide carbonique qu'il tient en dissolution. Mais cette exhalation gazeuse, bien que très-activée, n'est plus suffisante pour maintenir la composition normale du sang qui reste sursaturé d'acide carbonique; de là, la céphalalgie occipitale, les nausées, une somnolence irrésistible et un refroidissement encore plus considérable dont souffrent ordinairement voyageurs et guides à partir de 4000 à 4500^m d'altitude. (P. 35.)

Et il conclut en disant :

Les malaises connus sous le nom de *mal des montagnes* sont dus surtout au refroidissement considérable du corps, et peut-être aussi à une viciation du sang par l'acide carbonique. (P. 37.)

M. Lortet était accompagné dans son ascension par un médecin anglais, le Dr W. Marcet[1], qui fit les mêmes expériences, et en rendit compte dans un travail spécial.

Les observations étaient faites avec un thermomètre placé dans la bouche, sans arrêter le mouvement d'ascension, parce que :

Le ralentissement de la marche ascendante, quelque courte que fût sa durée, suffisait cependant pour permettre au corps de reproduire momentanément de la chaleur en remplacement de celle qui avait été dépensée pendant l'acte de l'ascension.

Les résultats auxquels dit être arrivé M. W. Marcet sont identiques avec ceux de M. Lortet :

1° La température du corps humain à l'état de repos ne paraît pas être habituellement moins élevée à de grandes hauteurs qu'elle ne l'est au bord de la mer.

2° La température du corps tend invariablement à baisser pendant l'acte de l'ascension. Le degré de cet abaissement dépend presque exclusivement de l'époque à laquelle a eu lieu le dernier repas. Ce refroidissement est dû aux mouvements musculaires et non point à l'effet d'un air raréfié.... Une ascension rapide de 328^m seulement a suffi pour amener un refroidissement de 1°,4.

3° Le malaise général, et en particulier le mal de cœur, dont on souffre souvent à de grandes élévations, est accompagné d'un abaissement remarquable de la température du corps. Il provient de ce que le corps est devenu incapable, par suite des circonstances physiologiques dans lesquelles il se trouve, de reproduire la chaleur qu'il a dépensée pendant l'acte de l'ascension.

Ainsi, suivant M. Lortet et M. Marcet, qui s'exprime même plus nettement encore que son compagnon de voyage, il y a un refroidissement considérable du corps, et ce refroidissement est dû « non à un effet de l'air raréfié, » mais au mouvement musculaire, à la transformation de la chaleur au travail.

[1] *Observations sur la température du corps humain à différentes altitudes à l'état du repos et pendant l'acte de l'ascension. — Bibl. univ. de Genève, Arch. des Sc. phys. et nat.*, 5e série, t. XXXVI, p. 247-289, 1869.

Mais ces physiologistes trouvèrent dans M. Forel un adversaire digne d'eux.

L'excellent travail du professeur de Lausanne se divise en trois parties publiées l'une en 1871, les deux dernières en 1874. Il a été entrepris d'abord comme une critique des mémoires de MM. Marcet et Lortet. M. Forel[1] commence par de très-justes critiques sur l'emploi du thermomètre buccal, comme indicateur de la température réelle du corps. Je transcris ici ses observations dont j'ai pu, en bien des circonstances, reconnaître toute l'exactitude :

Il est d'abord fort difficile de tenir les lèvres hermétiquement fermées pendant un temps suffisant, et ce n'est qu'après un nombre assez grand d'essais et d'expériences que j'ai pu arriver à une habitude assez complète pour être assuré de ne pas laisser entrer une seule bulle d'air pendant l'expérimentation. Ce qui est déjà difficile à l'état de repos devient intolérable en marche ascendante, alors que la respiration devient haletante, alors que nous n'avons pas assez de toutes les ouvertures pour introduire dans nos poumons une masse suffisante d'air, alors surtout que la raréfaction de l'air exige impérieusement, pour fournir à l'organisme assez d'oxygène, un volume plus considérable que celui dont nous avons besoin en plaine ; c'est alors un véritable supplice que de fermer, dix minutes durant, la bouche que nous voudrions pouvoir agrandir, et l'expérimentation devient atrocement pénible.

Une autre difficulté est de maintenir exactement le thermomètre sous la langue, et autant que possible toujours à la même place. La langue est fort souple et assez docile ; elle sait au besoin entourer la boule du thermomètre assez étroitement pour ne point permettre de contact avec l'air de la bouche ; mais la chose est fort difficile, ainsi que l'on peut s'en convaincre devant un miroir, et ce qui est difficile au repos devient presque impraticable dans les conditions pénibles de l'expérimentation.

Or, si une portion quelconque de la surface du réservoir est au contact de l'air de la bouche, les résultats sont grandement modifiés. En effet, la cavité buccale n'est point fermée par derrière, l'orifice palatin permet un mélange constant de l'air contenu dans la bouche et de l'air qui circule avec une impétuosité violente dans le canal pharyngien ; alors même qu'il n'y a pas de courant d'air dans la cavité buccale proprement dite, ce mélange se fait nécessairement, et cela dans des proportions d'autant plus grandes que le courant d'air pharyngien est plus violent et que les différences de température et d'humidité entre l'air pharyngien et l'air buccal sont plus considérables. Dans nos conditions d'expérimentation sur de hautes montagnes, nous sommes aussi défavorablement placés que possible à ce point de vue. La respiration est haletante, dans un air très-sec et très-froid. Le mélange d'air doit nécessairement augmenter d'importance avec l'altitude et avec les mouvements musculaires qui accélèrent la respiration.

L'air froid introduit dans la bouche pourrait peut-être se réchauffer assez vite pour n'être pas la cause de modifications très-considérables de température; mais,

[1] *Expériences sur la température du corps humain dans l'acte de l'ascension des montagnes.* — Extrait du *Bulletin de la Société médicale de la Suisse Romande,* 1re série, Genève et Bâle, 1871 ; 2e et 3e séries, 1874.

comme cet air est très-sec, il y a évaporation d'une certaine quantité de salive, d'où refroidissement et abaissement du thermomètre. (P. 12.)

En outre de cette critique tout à fait générale, M. Forel trouve, avec raison, étrange, inexplicable, si l'on n'admet une erreur considérable dans l'observation, une des assertions de MM. Lortet et Marcet :

L'un et l'autre disent, en effet, avoir dû observer la température en marche, pendant l'acte même de l'ascension, car aussitôt qu'ils s'arrêtaient, qu'ils ralentissaient seulement la rapidité de la marche, le thermomètre, relativement très-bas pendant l'ascension, se relevait presque subitement pour prendre la température normale du corps. . . . .

Or, le corps humain ne peut pas se réchauffer ainsi instantanément. Étant donnée la température à 35°, il faudra, s'il pèse 60 kilogr., 60 calories produites pour qu'elle s'élève à 36°.... Helmholtz estime à 1,5 calories par minute la production de chaleur d'un homme de 60^{kil} ; il faudrait donc, pour produire les 60 calories 40 minutes.... ce qui est bien loin de l'instantanéité décrite par Lortet et Marcet. (P. 15.)

La première partie du travail de M. Forel se termine par des conclusions dont j'extrais les deux suivantes, comme étant les plus importantes :

1° L'acte de l'ascension amène normalement une élévation de la température du corps de quelques dixièmes de degré ;

Je réserve mon opinion au sujet de l'effet sur la calorification du corps de l'ascension dans l'état connu sous le nom de mal des montagnes. (P. 23.)[1]

Ces conclusions se retrouvent encore à la fin de la 2e partie, dans laquelle les médecins et les physiologistes liront avec le plus grand intérêt des expériences de critique expérimentale fort précise sur la détermination de la température en divers points du corps (main, aisselle, aine, bouche, conduit auditif, urine, rectum).

La 3e partie est postérieure à la publication dans les Annales des sciences naturelles de mon Mémoire, dont M. Forel adopte les résultats. J'y trouve une anecdote, fort intéressante au point de vue de la théorie que j'ai formulée et dont le présent travail démontrera, je l'espère, l'exactitude aux plus difficiles à convaincre: je la rapporterai dans la troisième partie de cet ouvrage.

Enfin, M. Forel termine par un récit détaillé d'une ascension au mont Rose dans laquelle il a ressenti, bien qu'à un faible degré, le mal des montagnes. Il fait à cette occasion cette remarque, — qui explique à la fois certaines exagérations et certains scepticismes —

[1] Dans ses ascensions M. Forel n'avait pas encore dépassé *la Cima di Jazzi* (3818^{m}).

c'est à savoir que l'attention portée à l'observation des symptômes qu'on éprouve, fait disparaître la dépression morale et diminuer la fatigue. Il en est de l'intérêt scientifique comme du danger ; personne ne souffre du mal des montagnes dans les passages périlleux.

Dans cette ascension, M. Forel a vu sa température s'élever toujours par la marche, même au-dessus de 4000^m ; il s'en étonne lui-même, eu égard à l'état anoxyhémique très-prononcé dans lequel il devait se trouver. Mais, comme il n'a pas été sérieusement éprouvé, il se contente d'énoncer le fait et, fidèle à sa méthode prudente, il réserve encore le cas de l'ascension pendant un état avéré de *mal des montagnes*.

Ces conclusions furent corroborées par les recherches d'un physiologiste anglais qui s'était beaucoup occupé de recherches sur les variations de la température du corps en santé et en maladie.

Clifford-Allbutt[1] fit une série d'ascensions, dont l'une au mont Blanc, par un fort mauvais temps, pour étudier les effets de la marche et de l'ascension sur la température du corps. Celle-ci était mesurée sous la langue, pendant la marche même, le thermomètre à maxima restant en place 15 ou 20 minutes.

Il tire de ses observations la conclusion que l'exercice musculaire tend à élever la température.

Je cite un de ses tableaux, le plus intéressant, puisqu'il a rapport au trajet des Grands-Mulets au mont Blanc :

18 août 1870,			
1 h 30	matin.	Aux Grands-Mulets. Avant de me lever. . .	97°,5 F.
3 h 30	—	Ascension commencée à 3h.	97°,7
5 h »	—	Au Grand-Plateau (temps affreux).	98°,0
7 h 30	—	J'ai commencé à descendre à 7h.	98°,5
8 h 30	—	Arrivant aux Grands-Mulets.	98°,5
9 h 15	—	A l'hôtel, à Chamounix, me mettant au lit. .	97°,6

Je dois cependant noter que, la veille, tout à coup, en arrivant aux Grands-Mulets, la température s'est abaissée à 95,5, pour se relever à 98,5 après 10 minutes de repos. Le 20, à Chamounix, dans son lit, Allbutt trouva 95,4.

Un autre physiologiste anglais, C. Handfield Jones[2], attribua même à l'épuisement par la fatigue, les tracés sphygmographiques de M. Lortet.

[1] *The effect of exercise on the bodily temperature. — Journal of Anat. and Physiol.*, 2e série, vol. VII, p. 106-119, novembre 1872.

[2] *Observations on the Effects of Exercise on the Temperatur and Circulation. Proceed. of the Roy. Soc.*, XXI, p. 374, 1872-73.

Les discussions entre MM. Lortet et Forel ont attiré de nouveau, surtout en Suisse, l'attention des médecins et des physiologistes sur le mal des montages. C'est ainsi que nous voyons M. Dufour[1] émettre à son tour, sur ce difficile sujet, une théorie des plus remarquables et qui indique une connaissance profonde des progrès récents de la science.

Dans la séance du 27 janvier de la section Diablerets du club alpin Suisse, il a exprimé l'idée

Que l'état maladif assez peu déterminé que l'on appelle mal de montagne provient de l'absence dans le sang des éléments ternaires qui servent à la combustion. (P. 72.)

M. Dufour est particulièrement frappé du contraste que présentent les voyageurs et les aéronautes, ceux-ci étant bien portants à des hauteurs où les autres ne peuvent atteindre sans de graves malaises :

Si la raréfaction simple de l'air eût été nuisible à la santé, combien plus Glaisher et Coxwell auraient-ils dû en éprouver les inconvénients, eux qui, en 25 minutes, s'élevèrent du niveau de la mer ou à peu près, jusqu'au niveau du sommet du mont Blanc ?

En outre, lorsque les aéronautes éprouvent enfin les symptômes pathologiques, ces symptômes ne ressemblent point à ceux du mal de montagne. M. Glaisher donne une description qui rappelle une paralysie de sensibilité et de mouvement s'étendant régulièrement des extrémités au centre. Cette paralysie est-elle produite par un arrêt ou un ralentissement de la circulation, ou bien est-ce un effet direct sur l'innervation ? Nous ne saurions le dire. Le fait que M. Coxwell a eu un instant les mains bleues semble appuyer la première hypothèse, tandis que le fait que M. Glaisher a perdu l'usage de la rétine, tandis que les fonctions psychiques étaient encore intactes, appuierait plutôt la seconde.

En tous cas, et c'est le point important pour nous, les symptômes pathologiques arrivent fort tard, et quand ils arrivent, ce ne sont pas ceux du mal de montagne.

Nous sommes donc amenés à considérer le travail musculaire comme étant le facteur principal dans la production du mal de montagne, et si la raréfaction de l'air y contribue un peu, c'est par l'intermédiaire de la combustion que le travail exige. (P. 76.)

M. Dufour pense que l'inanition produite par le travail est la principale cause du mal des montagnes. Il raconte en avoir éprouvé dans la plaine les symptômes après de grands efforts musculaires :

M. Dufour a éprouvé plusieurs symptômes du mal de montagne, y compris la nausée, en remontant du fond des mines de Freiberg dans un puits et par des

[1] *Sur le Mal des montagnes. — Bullet. de la Soc. méd. de la Suisse Romande*, 1874; p. 72-79.

échelles verticales. Il avait cheminé dans la mine pendant trois heures environ, n'avait rien mangé et le malaise le prit en remontant, à 50 ou 60 mètres au-dessous de la surface du sol. Il fallait deux ou trois repos pour franchir cette courte distance verticale.

Il lui arriva également que dans une ascension au Pilate, après une marche trop rapide depuis Hergiswyl, il fut pris d'une prostration excessive, battements dans le cou, céphalalgie et dyspnée. A ce moment, cherchant machinalement dans la poche de son habit, il y trouva un morceau de pain qu'il porta à sa bouche. Après avoir passé cinq minutes à avoir la salive nécessaire pour mouiller son pain, il l'avala. Quelques minutes après, les symptômes du malaise disparurent comme par enchantement, et il fut possible de monter très-aisément les 100 ou 200 mètres qui restaient à gravir. (P. 76.)

Alors, se basant sur les données récentes de la physiologie, il considère que le travail de l'ascension use la réserve de matériaux ternaires contenus dans le sang et les tissus, d'où résulte l'épuisement musculaire.

Je veux citer intégralement ce passage remarquable :

Il est probable que pendant les premières heures de l'ascension, le travail musculaire brûle les substances non azotées immédiatement disponibles soit dans la substance musculaire, soit dans le sang.

Quelle est la restitution qui doit compenser l'effet d'une dépense si grande ? Elle ne peut avoir lieu que de deux manières : ou les vaisseaux chylifères amènent dans le torrent circulatoire des éléments nouveaux élaborés par la digestion, ou bien l'organisme résorbe et entraîne à nouveau dans la circulation les éléments du pannicule graisseux. Ce dernier point est tellement sûr, que travailler beaucoup et manger peu est un moyen parfaitement connu de tout le monde pour se faire maigrir. La première de ces restitutions peut se faire assez rapidement ; la seconde, si nous en jugeons par les phénomènes de résorption auxquels nous assistons souvent, ne peut se faire que beaucoup plus lentement.

Il est probable que la résorption du tissu graisseux pour être employé, comme combustible, dans le travail ascensionnel, est un phénomène trop lent pour suffire à compenser au fur et à mesure la dépense occasionnée par le travail de quelqu'un qui monte sans s'arrêter.

Il doit donc arriver un moment où le grimpeur, ne mangeant pas, le combustible disponible va en diminuant et ne peut être réparé qu'en partie par la résorption. Cet effet se produira le plus facilement, lorsqu'après un travail de quelques heures le grimpeur attaque une pente raide qu'il veut gravir trop vite, de sorte qu'il y a une disproportion plus grande encore entre le travail fourni et l'espace de temps employé à le fournir. (P. 77.)

Il devient ainsi, selon M. Dufour, très-facile d'expliquer :

a. L'importance du repos, parce que pendant le repos la dépense est nulle, tandis que la réparation continue.

b. Le fait qu'après le repos, la quantité de travail facilement produite est sensiblement proportionnelle à la durée du repos ; pour la même raison que ci-dessus.

c. Le fait que, pour celui qui a le mal de montagne, tout nouvel effort devient pénible comme de se baisser, de travailler avec les bras. (Voir H.-B. de Saussure.)

d. Le fait que le mal de montagne semble atteindre davantage les sujets gras que les sujets maigres, parce que les premiers livrent, à ascension égale, un bien plus grand nombre de kilogrammètres de travail. Le fait qu'ils ont dans le pannicule graisseux un dépôt de combustible est ici sans importance, car les gens très-maigres ont toujours un pannicule suffisant pour fournir au travail ascensionnel tel qu'il se présente en général.

f. Le fait, enfin, qu'un moyen d'éviter le mal de montagne est de manger souvent, c'est-à-dire de fournir des matériaux non plus par voie de résorption, mais par voie de digestion et absorption. (P. 78.)

Puis, il tire de sa théorie cette conséquence logique :

Nous sommes, en conséquence, amenés à chercher, pour éviter le malaise des montagnes, un aliment combustible facile à digérer et à absorber.

M. Dufour pense que le sirop de sucre ou mieux le sirop de glycose remplirai ces conditions. En effet, les graisses, qui sont le meilleur combustible, demandent un certain temps de digestion et peuvent ne pas arriver à temps pour satisfaire à un besoin immédiat; les fécules doivent être transformées en sucre, le sirop de glycose serait donc l'aliment qui arriverait le plus facilement dans la circulation. (P. 78.)

La discussion que souleva l'importante théorie présentée par M. Dufour amena une communication fort intéressante de M. Javelle[1], président de la section Diablerets du *Club Alpin suisse.*

Les récits qu'elle contient montrent, comme nous l'avons déjà fait remarquer, que les personnes atteintes du *mal des montagnes*, même à un assez haut degré, voient souvent disparaître immédiatement leur malaise lorsque apparaissent des dangers ou que devient nécessaire une forte contention d'esprit.

Ils prouvent en outre que ces malaises sont beaucoup plus fréquents qu'on ne se l'imagine d'ordinaire, et répondent suffisamment à certains sceptiques qui n'ont pas craint de railler ce qu'ils appellent les exagérations de M. de Saussure.

Notons que M. Javelle possède une longue expérience des hautes cimes, et qu'il a fait près de 200 ascensions de 5 à 15000 pieds, très-souvent en compagnie de 10 à 20 jeunes gens :

Le mal des montagnes se manifeste très-fréquemment dans la région moyenne des Alpes, entre 5 et 10000 pieds, c'est-à-dire à une hauteur où l'air suffit aux besoins de la respiration et où l'on ne peut guère tenir compte, pour l'expliquer, de l'intoxication par excès d'acide carbonique. A 14 ou 15 000 pieds, le malaise

[1] *Sur le Mal des montagnes.* — *Bull. de la Soc. méd. de la Suisse Romande*, 1874, p. 136-140.

qu'éprouvent même les plus robustes montagnards diffère par plusieurs caractères.

Le mal de montagne affecte tout particulièrement les personnes qui ont peu l'habitude de la montagne, et surtout celles qui mènent une vie sédentaire. Les anémiques y échappent rarement. Les novices qui débutent par une forte course ont grande chance de payer le tribut. (P. 136.). . . . .

Ce malaise se produit surtout sur la neige molle, le gazon, les pentes d'éboulis où la marche est pénible, dans les vallons et sur les longues pentes, en général partout où la marche est à la fois fatigante et *monotone*.

Il se produit bien rarement durant la grimpée des rochers ou sur les arêtes, très-rarement aussi dans les expéditions difficiles ou dangereuses.

Une conversation intéressante, ou simplement l'observation attentive du paysage en préservent souvent.

M. Javelle a remarqué que les jeunes gens qui faisaient les courses sans intérêt ni émulation et seulement pour suivre leurs camarades en étaient le plus souvent atteints. (P. 13.)

Le rédacteur du *Bulletin* résume les discussions qui se sont élevées sur l'étiologie du mal des montagnes dans le sein du club alpin Suisse par cette phrase curieuse :

Les principaux facteurs sont l'inanition, l'intensité et la rapidité du travail, et les dispositions psychiques. On ne peut écarter complétement du cadre étiologique la raréfaction de l'air et l'intoxication par l'acide carbonique. La question qui présente un certain intérêt offre donc encore des inconnues à chercher. (P. 140).

Du reste, le passage suivant, emprunté au célèbre physicien et intrépide ascensionniste Tyndall donne également sur ce sujet d'intéressants renseignements :

Il n'est pas bon de s'engager, sans avoir mangé, dans ces ascensions, et il n'est pas bon de manger copieusement. Il faut manger un peu ici et un peu là, comme le besoin s'en fait sentir. Mais, laissé à lui-même, l'estomac devient infailliblement malade, et les forces du système s'épuisent rapidement. Si le malaise arrive à amener le dégoût de la nourriture, les vomissements peuvent survenir et l'estomac être vaincu. Un peu de nourriture suffit pour le remettre. Les guides les plus forts et les porteurs les plus robustes en sont quelquefois réduits à cette extrémité. « Sie mussen sich zwingen ». Les guides rapportent ces caprices de l'estomac à la grande élévation de l'air. Ce peut être là *une* des causes, mais j'incline à penser que quelque chose est dû également au mouvement, — l'action continue des muscles sur le diaphragme. Les conditions dans lesquelles se fait le voyage et celles qui l'ont précédé doivent aussi être prises en grande considération. On dort peu ou point ; le repas du matin est pris à une heure inaccoutumée ; et si le départ doit avoir lieu d'une caverne ou d'une cabane, au lieu d'un lit d'hôtel, il y a là une aggravation sérieuse des conditions mauvaises. Ce ne peut pas être la faible différence de hauteur du mont Blanc et du mont Rose qui rend si différents les effets de leurs ascensions. C'est que, pour le premier, on a pour faire son café la neige fondue des Grands-Mulets, et pour lit une planche

[2] Tyndall, *Hours of Exercise in the Alps*, 2e édit. — London, 1871.

nue ; tandis que pour l'autre, on jouit de l'auberge, en comparaison bien confortable, du Riffel. Du lait et une croûte de pain sont tout ce dont j'ai besoin pour soutenir mes forces et éviter *le mal des montagnes* .(P. 304.)

Ces remarques très-sages ont été faites par beaucoup de voyageurs, La fatigue plus ou moins grande qui a précédé l'ascension est un élément dont l'importance est bien connue aujourd'hui. Il en est de même pour l'habitude de la marche et du séjour en montagne. Les observations suivantes de M. Durier[1], à ce propos, sont tout à fait dignes d'approbation. Nous avons dit plus haut (p. 122) comment, par une coïncidence singulière, M. Durier et ses compagnons, qui ne souffrirent nullement de la décompression, montaient au mont Blanc juste derrière MM. Lortet et Marcet, dont nous avons raconté les malaises. M. Durier explique cette différence dans les termes suivants :

En général, les physiologistes qui ont étudié sur eux-mêmes les impressions du mal des montagnes s'arrachent aux travaux de leur laboratoire pour accourir à Chamounix ; au premier jour favorable, ils tentent l'ascension. Eh bien ! je crois qu'ils font leur expérience dans des conditions peu scientifiques. L'ascension du mont Blanc est, après tout, fort pénible. Elle exige un exercice, un entraînement préalable. Ces savants s'exposent à confondre les effets d'une fatigue inusitée, qui prend leurs muscles sans préparation, avec ceux d'une atmosphère raréfiée. (P. 63.) . . . .

C'est dans ces conditions que MM. Marcet de Genève et Lortet de Lyon ont effectué leur ascension.... Nous, nous étions à la quatrième semaine d'un voyage, d'un voyage à pied, pendant lequel, sans nous reposer un jour, nous avions franchi quelques-uns des cols les plus élevés des Alpes. (P. 66.)

Enfin M. Russel Killough[2], dont j'ai signalé les très-sagaces réponses aux sceptiques qui nient le *mal des montagnes*, est moins heureux quand il s'agit d'explications théoriques. Il fait renaître, sans la moindre preuve à l'appui, d'expérience ni de raisonnement, l'hypothèse de l'action funeste de la neige :

Je suis prêt à accorder que la hauteur n'est pas exclusivement la cause de ces souffrances. Je crois, et d'autres ont cru avant moi, que la neige est un élément important de la question, parce qu'au moment où l'on touche la terre ferme, on se trouve soulagé. Chacun de nous n'a-t-il pas remarqué que sur les glaciers l'air a un goût métallique, analogue à l'eau de la fonte des neiges, qu'il semble vicié, comme si la glace et la neige l'empoisonnaient de leurs émanations? Pourquoi sous les tropiques, où l'on marche sur l'herbe à 18000 pieds, les nausées et l'envie de dormir, cette espèce de somnambulisme, ne sont-ils ressentis qu'à de bien plus grandes hauteurs qu'en Europe ?

[1] *Histoire du mont Blanc.* — Paris, 1873.
[2] *Loc. cit. : On mountains,* etc., 1872.

En tout cas, quelle qu'en soit la cause, cette souffrance particulière est tout à fait hors de doute, et l'homme ne peut pas plus vivre à de certaines altitudes que dans les profondeurs de l'Océan. (P. 244.)

Si des Alpes nous passons à l'Himalaya, nous voyons les voyageurs modernes nous donner, par leurs récits, ce témoignage que, encore de nos jours, les malaises des grandes hauteurs sont attribués, par les indigènes, à l'influence de plantes qui empoisonneraient l'air au loin.

Ainsi mistress Hervey[1] y revient à plusieurs reprises :

Ces attaques extraordinaires, sur les passes d'une grande élévation, sont attribuées par les natifs à ce qu'ils appellent Bischk-Ke-Hâwa (Bischk, poison ; Hâwa, vent) ou vent empoisonné. Ils croient que le vent devient empoisonné parce qu'il souffle sur certaines plantes du groupe des mousses, qui poussent abondamment sur les hautes montagnes de Tartarie, et se rencontrent là où cesse la végétation. Depuis le sommet du Bara Lâcha jusqu'à Yûnnumscûtchoo, j'en observai des milliers. Elles ont de très-petites fleurs jaunes, et sont de différentes espèces. Une explication plus scientifique de cette maladie particulière consiste à l'attribuer à la grande rareté de l'air à ces hauteurs extrêmes. (T. I, p. 133.)

On voit même, en plusieurs endroits de son récit, et nous en avons cité de fort curieux sous ce rapport, qu'elle n'est pas toujours très-sûre de la supériorité de « l'explication plus scientifique ».

Henderson[2] parle aussi des plantes ; seulement, il ne s'agit plus d'une espèce de mousse, mais d'artémise :

Avant d'atteindre le camp, beaucoup de nos suivants se plaignaient de mal de tête, et je trouvai plusieurs des pasteurs thibétains couchés le long de la route, dans un état de prostration complète. Quand je leur demandais ce qu'ils avaient, ls plaçaient une main devant leur front, et avec l'autre, arrachaient un morceau d'une artémise à forte odeur, faisant signe que cette plante était cause de leurs souffrances. Sur plusieurs des passes, cette artémise a une odeur extrêmement puissante, et tous les bagages, les chevaux et les hommes venant d'Yarkand en ont empestés. La viande de mouton même a cette odeur.

Drew[3] ne se borne pas à signaler ce préjugé et à le réfuter péremptoirement, il envisage théoriquement la question elle-même et recherche non point pourquoi on est malade, ce qui lui paraît fort simple, mais comment on peut résister à l'influence redoutable de l'air dilaté :

Dans les vallées du Rupsku, l'eau bout à environ 187° F., ce qui correspond à une hauteur barométrique de 17p.8 ; il résulte de là que la quantité d'air

[1] *Loc. cit. : The adventures*, etc., 1853.
[2] *Loc. cit. : Lahore to Yarkand*, etc., 1873.
[3] *Loc. cit. : The Jumnoo*, etc., 1875.

— et d'oxygène — attirée dans nos poumons par une inspiration ordinaire est seulement les 7/12 de ce qui y entre au niveau de la mer. Comment les Champas (tribus qui habitent les hautes plaines du Rupsku, au sud-est) arrivent-ils à compenser cette perte? Je ne puis le dire avec précision ; je pense, d'abord, qu'il y a une moindre usure des tissus dans leurs corps que dans ceux qui vivent dans des régions plus basses et plus chaudes ; ils se donnent moins d'exercice musculaire que les peuples des contrées environnantes ; il est vrai qu'ils sont bons marcheurs, mais ils ne se soucient pas beaucoup de cette qualité et ne veulent pas porter de fardeaux. Surveiller des troupeaux n'est pas une occupation qui amène les muscles à agir puissamment. Mais cela ne peut pas tout expliquer ; il doit y avoir quelque habitude compensatrice qui les rend capables d'absorber un large volume de cet air raréfié; probablement, et sans en avoir conscience, ils respirent plus profondément.

Chez nous, cette compensation d'oxygène tend à se faire par un moyen simple et direct. La respiration devient plus rapide et plus ample ; il y a un effort pour augmenter à la fois le nombre des inspirations et la capacité de chacune d'elles. L'intensité de cet effet augmente chaque fois qu'on s'élève un peu lorsqu'on est déjà au-dessus du niveau où la respiration ordinaire suffit. (P. 290.)

Les natifs attribuent communément ces effets fâcheux de l'air raréfié à des plantes qui, dans leur opinion, ont le pouvoir d'empoisonner l'air. Quelques-unes des herbes qui poussent sur les grandes hauteurs exhalent une odeur quand on les froisse, et c'est à elles qu'on attribue les malaises. L'oignon, dont on abuse tant, qui pousse sauvage à de grandes hauteurs, est souvent accusé. Mais une réponse aisée à cette erreur, c'est que les effets sont les plus marqués sur les hauteurs où ces plantes, et aussi toute végétation ont disparu. (P. 292.)

Ces idées sont bien autrement nettes et sûres que celles du capitaine Burton[1] sur l'origine du *mal des montagnes :*

Quelques-uns essayaient d'expliquer notre immunité pour le mal des montagnes ou la *puna* sur le Grand-Pic, par l'existence d'un vent soufflant violemment et constamment de l'est, qui apportait à nos poumons la quantité d'oxygène nécessaire à leur consommation. Je crois, cependant, que cette maladie doit être, comme le mal de mer, un désordre du foie ou de l'estomac, souvent aggravé par les stimulants et par un violent et soudain exercice. (T. II, p. 121.)

Le célèbre voyageur africain cite sérieusement à ce propos un passage d'un ouvrage que je n'ai pu me procurer, qui contient, je crois, l'une des idées les plus bouffonnes qui aient été émises en cette difficile matière :

Selon le Dr J. Hunt (*Acclimatisation of Man*) les Européens ne peuvent pas vivre à une grande élévation longtemps dans l'hémisphère nord; les natifs du sud le peuvent.... « Cette différence entre l'hémisphère nord et le sud est, dit-il, causée par la différence de l'attraction au pôle Nord. Dans l'hémisphère nord l'ascension d'une haute montagne cause un appel de sang à la tête; dans le Sud, c'est une attraction aux pieds : de là la cause des malaises éprouvés dans l'ascension d'une montagne dans le premier hémisphère. »

[1] *Abeokuta.* — London ; 2 vol., 1863.

Je terminerai cette longue série de citations en rapportant presque au complet deux notes très-intéressantes, dues à la plume de médecins fort distingués, et dans lesquelles sont étudiés les effets d'altitudes insuffisantes pour produire le mal des montagnes, mais suffisantes pour amener des modifications physiologiques dont la thérapeutique a pu tirer parti.

La première est de M. le Dr Jaccoud[1], et est consacrée à l'étude, au point de vue médical, de la station de Saint-Moritz, dans la haute Engadine.

Les oscillations extrêmes du baromètre à l'établissement des bains sont comprises entre 599 et 627mm. La hauteur du village de Saint-Moritz est de 1855m au-dessus du niveau de la mer. Sur le vaste plateau de l'Engadine, le climat se montre beaucoup plus clément que sur les hauteurs correspondantes du reste de la Suisse :

Chez l'adulte en bonne santé, les premiers effets de l'altitude se révèlent par une augmentation de l'appétit qui se fait sentir dès le premier jour, et qui marche de pair avec un accroissement proportionnel de la puissance digestive et assimilative. . . . .

La suractivité parallèle des fonctions digestives et de l'échange nutritif est démontrée, d'une part, par la facilité et la rapidité des digestions, malgré l'augmentation des ingesta; d'autre part, par les changements de proportion entre le tissu graisseux et le tissu musculaire. Le premier diminue notablement par suite d'un séjour prolongé sur la haute Engadine, tandis que les muscles prennent un développement prépondérant qui se traduit par l'accroissement des forces et de la capacité motrice. . . . .

L'abaissement de la pression atmosphérique détermine l'accélération des battements du cœur ; j'ai constaté sur moi une augmentation variant de douze à dix-huit dans le nombre des pulsations radiales ; en outre, la circulation dans son ensemble est notablement modifiée, en ce sens qu'il se fait à la périphérie un puissant afflux sanguin ; les capillaires cutanés sont turgescents, et les téguments prennent une couleur d'un rouge violet que l'on retrouve sur les muqueuses supérieures, notamment sur celles de la bouche et de la langue; si le séjour est prolongé durant quelques semaines, la prédominance de la circulation périphérique produit une pigmentation plus forte de la peau ; comme ce phénomène est plus marqué sur les régions habituellement exposées à l'action du soleil, on pourrait croire qu'il ne s'agit ici que d'une pigmentation par irradiation solaire; mais la même modification a lieu sur les parties protégées par les vêtements, et sa cause véritable est par là nettement démontrée. Dans quelques cas, plus rares qu'on ne le supposerait *à priori*, de légères épistaxis témoignent aussi du changement survenu dans la répartition du sang.

L'appel incessant du sang à la périphérie maintient les viscères dans un état d'anémie relative, lequel, en raison de son degré, ne se révèle que par des phénomènes favorables; les fonctions cérébro-spinales sont plus actives et plus faciles, la tête est libre et légère, la puissance locomotrice est accrue, la respiration

[1] *La Station médicale de Saint-Moritz (Engadine)*. — Paris, 1873.

est remarquablement aisée, encore bien que le mode en soit grandement modifié, comme nous le verrons dans un instant. Ces changements organiques éveillent chez l'individu qui les subit le sentiment d'une force nouvelle, qu'il juge par comparaison avec son état ordinaire ; il se sent dispos et gaillard, il a un entrain que justifie l'accroissement réel de sa capacité pour le travail physique. (P. 31.)

La raréfaction de l'air à l'altitude de Saint-Moritz produit dans la fonction respiratoire deux changements qui sont le point de départ d'importantes modifications. La fréquence de la respiration est augmentée, le nombre moyen de mes inspirations à Paris, au repos, est de 15 par minute ; il est de 19 à 20 dans l'Engadine ; en même temps qu'elle est plus fréquente, la respiration est plus profonde ou, pour mieux dire, plus ample ; la raison, c'est que dans ce milieu raréfié, il faut une capacité, une absorption inspiratoire plus grande, pour maintenir dans l'appareil pulmonaire la quantité d'air nécessaire à l'accomplissement régulier des opérations de l'hématose et de la nutrition en état de suractivité. Or, l'augmentation légère du nombre des inspirations ne saurait amener ce résultat ; il ne peut être dû qu'à une ampliation pulmonaire plus considérable, qui met en jeu certaines régions du poumon que j'appelle paresseuses, parce que, dans les conditions ordinaires, elles ne prennent qu'une très-faible part à l'expansion inspiratoire ; ces régions sont les parties supérieures des organes. Mais comme la pression atmosphérique est abaissée, cette participation plus complète du poumon à l'acte inspiratoire implique nécessairement une augmentation d'action des forces musculaires qui président à l'ampliation du thorax ; et cet ensemble de conditions subordonnées, toutes issues du changement de pression dans le milieu respirable, a pour résultat, en fin de compte, une gymnastique méthodique régulière et constante de l'appareil respiratoire, qui est maintenu sans fatigue au maximum de l'activité fonctionnelle.

Ainsi sont produits, par une *intervention active* des organes de respiration, des effets analogues à ceux qu'ils subissent *passivement* sous l'influence de l'air comprimé ; dans l'air raréfié, l'absorption inspiratoire devient complète par le fait d'un travail actif des puissances musculaires ; dans l'air comprimé, l'absorption inspiratoire accrue est la conséquence d'une pression augmentée, sous laquelle les poumons, et les poumons seuls, cèdent passivement. Ce rapprochement, qui me paraît digne d'intérêt, suffit pour établir la supériorité de la première condition, au point de vue du développement et de l'exercice réguliers des fonctions pulmonaires. (P. 34.) . . . .

Ainsi, augmentation du nombre et de l'amplitude des mouvements respiratoires, dans le but de compenser le déficit en oxygène dû au moindre poids de l'air, accélération des battements du cœur, appel du sang à la périphérie du corps, tels sont, aux yeux de M. Jaccoud, les effets sur l'organisme d'une dépression de 15 à 16 centimètres.

M. le Dr Armieux[1], dont il me reste à parler, a examiné avec soin les militaires confiés à sa direction médicale à la station thermale de Baréges (1270m).

[1] *Effets physiologiques du climat et des eaux de Baréges. — Mém. de l'Acad. des Sc. Inscr et Belles-Lettres de Toulouse*, 7e série, t. IV, p. 214-231, 1873.

Il commence par calculer la diminution du poids d'air supporté par le corps de l'homme à la hauteur de Baréges; elle serait d'environ 220 kil. ; « cette diminution, dit-il, est très-appréciable ; on a plus d'agilité, de vigueur (p. 7). »

Enfin, à Baréges, eu égard à la densité de l'air, on est en déficit, au point de vue de la quantité d'oxygène introduite dans les poumons, par heure de 22 g. 56 et par jour de 541 g. 44.

Mais voici la partie vraiment originale du travail de M. Armieux :

Le 4 mai 1867, je mesurai, à Toulouse, la poitrine de quatre-vingt-dix infirmiers, désignés pour Baréges. La circonférence pectorale, prise horizontalement, au niveau des mamelons, m'a donné une moyenne de 871 millimètres, au repos, et 905 millimètres dans la plus grande amplitude obtenue par une forte inspiration.

Ces hommes sont arrivés à Baréges le 15 mai, ils n'ont pas fait de cure thermale, et les observations ultérieures ont démontré l'influence seule du milieu hygiénique.

Le 27 juin, c'est-à-dire après quarante-trois jours de résidence, leur poitrine mesurée de nouveau a donné les moyennes de 888 millimètres de circonférence au repos et 917 millimètres dans la plus grande expansion; l'augmentation de circonférence a donc été en moyenne, dans le premier cas, de 17 millimètres, dans le second de 12 millimètres.

Le 17 septembre, après un séjour de quatre mois à Baréges, les mêmes sujets, soumis à une nouvelle mensuration, ont fourni les résultats moyens suivants : 900 millimètres au repos et 930 millimètres dans l'amplitude forcée; il y avait une acquisition moyenne nouvelle de 12 ou 13 millimètres sur les mesures du mois de juin, et une augmentation progressive totale, après quatre mois, de 25 millimètres dans l'amplitude, et de 32,9 millimètres au repos.

Il est donc incontestable que la poitrine de ces militaires a augmenté de capacité, en quatre mois, dans une assez forte proportion, par suite de leur transport dans une station dont l'altitude est de 1100 mètres plus élevée que celle qu'ils habitaient auparavant. . . . .
. . . .

Pour arriver à une preuve plus directe, nous avons fait, en 1868, une expérience confirmative de la précédente, en ayant soin de prendre le poids exact des sujets, afin de comparer leur acquisition matérielle totale avec l'augmentation de volume de la poitrine.

Nous avons voulu également, cette fois, tenir compte des modifications que pouvaient éprouver le pouls, les mouvements respiratoires, par le transport sur les altitudes.

Nous avons soumis quatorze infirmiers à une observation rigoureuse, avant leur départ pour Baréges et après trente-cinq jours de résidence dans cette localité.

Le tableau suivant donne les détails et les moyennes de nos observations :

AGE	TAILLE	Toulouse, 7 mai 1868.				Baréges, 18 juin 1868.			
		POIDS	POITRINE	POULS	RESPIRATION	POIDS	POITRINE	POULS	RESPIRATION
22	1m,620	62k,100	91°	86	20	64k,5	98	85	19
23	1,590	62	86	76	16	61	87	80	20
19	1,567	56	80	70	17	57	82	64	20
23	1,620	63,100	85	80	18	65	88	70	22
31	1,650	63	88	74	17	64	90	68	20
19	1,615	52	76	72	18	56,5	81	75	21
23	1,680	64	86	80	20	67	89	70	22
23	1,630	60	89	82	21	61	89	80	22
23	1,610	59,9	86	90	18	60	86	88	22
24	1,600	60	84	75	20	59,5	88	65	20
20	1,610	57	83	74	18	58	86	70	19
49	1,640	59,5	81	72	19	59,7	83	68	20
23	1,585	64	90	80	18	66,5	91	80	20
36	1,610	59	86	80	21	60	89	74	23
	Totaux.	841,6	1191	1091	261	859,7	1227	1037	290
	Moyenne.	60,114	85,70	77,92	18,64	61,4	87,64	74,07	20,70
Moyenne à Baréges.		61,400	87,64	74,07	20,70				
Moyenne à Toulouse.		60,114	85,70	77,92	18,64				
Diff. en plus pour Baréges.		1,286	1,94	»	2,06				
Diff. en moins pour Baréges.		»	»	3,85	»				

Nous y voyons que l'acquisition en poids est de 1 kil. 286 grammes, en moyenne, variant de 1 à 4 kilogrammes chez douze de ces militaires, et éprouvant une légère diminution chez deux d'entre eux, tandis que l'augmentation de volume de la poitrine est en moyenne de près de 2 centimètres, ce qui est relativement plus considérable ; cet accroissement a pu aller jusqu'à 7 centimètres chez le premier sujet; enfin, il est général et existe même sur ceux qui ont diminué de poids, ce qui est péremptoire.

Pour être complet, je transcris ici un passage qui vise la composition des gaz du sang, bien qu'il renferme d'inexplicables erreurs, et que je n'en comprenne ni le but ni les résultats; mais il est intéressant de montrer par un exemple tout récent combien ces questions renferment encore d'inconnues, d'obscurités, aux yeux mêmes des médecins les plus instruits :

Outre les phénomènes que nous venons d'exposer, il se produit, par suite de la diminution de pression atmosphérique, une dilatation et une tension plus grande des gaz contenus dans les vaisseaux sanguins. Le sang veineux contient par litre :

Oxygène	11	centimètres cubes.
Azote	15	—
Acide carbonique	55	—
Total	81	centimètres cubes.

Le sang artériel renferme par litre :

Oxygène	24	centimètres cubes.
Azote	13	—
Acide carbonique	64	—
Total	101	centimètres cubes.

Pour M. Schœuffèle qui a étudié la question à Baréges même, ces chiffres deviennent à la pression de 65 centimètres : 94780 pour le sang veineux et 119640 pour le sang artériel; l'augmentation du volume du gaz intra-vasculaire rait donc en moyenne, de 11,25 pour 100 à l'altitude de Baréges.

M. Armieux termine son travail par les conclusions suivantes :

Les expériences que je viens de relater démontrent que, par les effets de l'altitude, les personnes qui arrivent à Baréges, éprouvent :

1° Une augmentation notable de la capacité thoracique pour faire une compensation au déficit d'oxygène;

2° Une augmentation de poids, qui indique une plus grande activité de la nutrition;

3° Une accélération des mouvements respiratoires;

4° Une diminution dans la fréquence du pouls;

5° Un défaut de corrélation entre les deux relations de la respiration et de la circulation;

6° Une dilatation des gaz contenus physiologiquement dans les vaisseaux sanguins, par suite de la diminution de la pression atmosphérique;
7° Une disposition plus grande à la diaphorèse par la même cause.

Cette augmentation notable de la capacité thoracique, observée par M. Armieux chez les militaires soumis d'une manière continue à l'influence d'une faible pression barométrique, rappelle ce que disait bien longtemps auparavant d'Orbigny[1], en parlant d'une tribu péruvienne, les Quichuas, qui vivent dans les hautes régions de la Cordillère :

Les formes sont plus massives chez les Quichuas que chez les autres nations des montagnes; nous pouvons les présenter comme caractéristiques. Les Quichuas ont les épaules très-larges, carrées, la poitrine excessivement volumineuse, très-bombée et plus longue qu'à l'ordinaire, ce qui augmente le tronc; aussi le rapport normal de longueur respective de celui-ci avec les extrémités ne paraît-il pas être le même chez les Quichuas que dans nos races européennes, et diffère-t-il également de celui des autres rameaux américains. (T. I, p. 226.)

Et le célèbre voyageur frappé tout à la fois de cette amplitude thoracique, de l'habitat de cette tribu, de son immunité pour le *soroche*, essaye de préciser le fait anatomique et de le relier théoriquement aux conditions de vie de ces Indiens.

Revenons aux causes qui déterminent, dans les Quichuas, le grand volume que nous y avons observé : beaucoup de recherches ont dû nous le faire attribuer à l'influence des régions élevées sur lesquelles ils vivent et aux modifications apportées par l'extrême dilatation de l'air. Les plateaux qu'ils habitent sont toujours compris entre les limites de 7500 à 15000 pieds, ou de 2500 à 5000 mètres d'élévation au-dessus du niveau de la mer; aussi l'air y est-il si raréfié, qu'il en faut une plus grande quantité qu'au niveau de l'Océan, pour que l'homme y trouve les éléments de la vie. Les poumons ayant besoin, par suite de leur grand volume nécessaire, et de leur plus grande dilatation dans l'inspiration, d'une cavité plus large qu'aux régions basses, cette cavité reçoit, dès l'enfance et pendant toute la durée de l'accroissement, un grand développement, tout à fait indépendant de celui des autres parties.

Nous avons voulu nous assurer si, comme nous devions le supposer *a priori*, les poumons eux-mêmes, par suite de leur plus grande extension, n'avaient pas subi de modifications notables. Habitant la ville de Paz, élevée de 3717 mètres au-dessus du niveau de l'Océan, et informé qu'à l'hôpital il y avait constamment des Indiens des plateaux très-populeux plus élevés encore (3900 à 4400 mètres), nous avons eu recours à la complaisance de notre compatriote M. Burnier, médecin de cet hôpital; nous l'avons prié de vouloir bien nous permettre de faire l'autopsie du cadavre de quelques-uns des Indiens des plus hautes régions, et nous avons, comme nous nous y attendions, reconnu avec lui aux poumons des dimensions extraordinaires, ce qu'indiquait la forme extérieure de la poitrine. (M. Burnier nous fit remarquer, en outre, que les poumons paraissaient divisés en cellules beaucoupplus nombreuses qu'à l'ordinaire. Ce fait nous paraissant étrange

[1] *L'homme américain*, 2 vol. — Paris, 1839.

et difficile à admettre, nous avons prié M. Burnier de répéter ces observations sur un plus grand nombre de sujets; et lorsqu'après quelques années nous avons revu ce médecin instruit, il nous l'a de nouveau complétement confirmé.) Nous avons remarqué que les cellules sont plus grandes que celles des poumons que nous avions disséqués en France; condition aussi nécessaire pour augmenter la surface en contact avec le fluide ambiant. En résumé, nous avons cru reconnaître : 1° que les cellules sont plus dilatées; 2° que leur dilatation augmente notablement le volume des poumons; 3° que par suite il faut à ceux-ci pour les contenir, une cavité plus vaste; 4° que, dès lors, la poitrine a une capacité plus grande que dans l'état normal; 5° enfin, que ce grand développement de la poitrine allonge le tronc un peu au delà des proportions ordinaires, et le met presque en désharmonie avec la longueur des extrémités, restées ce qu'elles auraient dû être, si la poitrine avait conservé ses dimensions naturelles. (T. I, p. 267.)

Ces observations anatomiques sont tellement intéressantes que la Société d'Anthropologie crut devoir en introduire la vérification parmi les *Questions ethnologiques et médicales relatives au Pérou*, dont elle proposa en 1861 la solution aux voyageurs.

Le savant rapporteur, M. Gosse père[1], fait remarquer que, « jusqu'à ce jour, les assertions de d'Orbigny n'ont été vérifiées par aucun voyageur » (p. 107). Il indique même un fait qui semblerait prouver qu'il s'agit là d'un caractère de race indépendant du milieu, puisque :

Les descendants des montagnards colonisés par les Incas, sur les bords de la mer, près de Cobija, auraient conservé jusqu'à nos jours, sous l'influence de l'hérédité, la constitution physique spéciale, censée acquise dans l'atmosphère des plateaux élevés. (P. 108.)

La même année, M. Jourdanet[2], parlant des Indiens du Mexique, disait :

L'Indien, qu'on peut considérer comme définitivement acclimaté, possède une poitrine dont l'ampleur dépasse les proportions qu'on devrait attendre de sa taille peu élevée. Aussi se livre-t-il sans gêne à des exercices qui auraient lieu de surprendre en tous pays..... Sa vaste poitrine le met à l'aise au milieu de cet air délié. (P. 98.)

Sur ce point également, il fut contredit par Coindet[3]. Selon cet observateur, pour une série de Français dont la taille moyenne était 1^m678, la circonférence thoracique au niveau des mamelons était $92^c,450$, tandis que chez les Mexicains, dans une taille moyenne de 1^m620, elle tombait à $89^c,048$.

[1] *Instruction pour le Pérou. — Bull. de la Soc. d'Anthrop. de Paris*, t. II, p. 86-137. — Paris, 1861.
[2] *Les altitudes de l'Am. trop ;* Paris, 1861.
[3] *Gaz. hebd.;* 1863, p. 779.

Mais le voyageur anglais Forbes confirma les observations de d'Orbigny et de M. Jourdanet :

M. D. Forbes, dit M. Darwin [1], qui a mesuré avec grand soin un grand nombre d'Aymaras, vivant à une altitude comprise entre 10 et 15000 pieds, m'informa qu'ils diffèrent très-notablement des hommes de toutes les autres races qu'il a vues, par la circonférence et par la longueur de leur corps.

Enfin, dans son dernier livre, M. Jourdanet [2] précise les faits en disant :

Je possède le relevé d'un grand nombre d'observations qui ne permettent pas de conserver le moindre doute. Elles m'autorisent à affirmer que, pour une moyenne de taille de 160 à 165 centimètres, les Indiens de l'Anahuac ont un sternum d'une longueur de 227^{mm}, sur 895^{mm} de circonférence thoracique, mesurée immédiatement au-dessus des mamelles.

D'autre part, mes recherches m'avaient amené à constater d'une manière générale que, pour trouver les mêmes dimensions de poitrine chez les créoles, il fallait s'élever à la taille de 168 à 173 centimètres, (T. I, p. 317.)

Ainsi, il s'agit bien moins, en réalité, d'une capacité thoracique extraordinairement vaste, que d'une taille moins élevée, ou pour parler plus exactement, que de membres inférieurs moins longs par rapport à la hauteur du tronc.

Mais revenons aux instructions du Dr Gosse.

M. Gosse fait suivre ses observations, pleines de sagacité, sur ce point intéressant, par un questionnaire sur le *mal des montagnes*, que je crois devoir reproduire intégralement ici :

L'étude de l'influence qu'exerce l'air raréfié des hauteurs dans les Andes péruviennes, sur la constitution physiologique de leurs habitants, nous conduit naturellement à celle des accidents produits par cette cause sur les personnes étrangères aux plateaux, qui s'y exposent imprudemment ou trop brusquement, et sur les moyens auxquels on a recours pour les combattre ou du moins pour en mitiger les effets.

Si les accidents observés dans nos Alpes européennes, et auxquels on donne le nom de *mal des montagnes*, se bornent en général à une anhélation extrême, accompagnée de céphalagie, de battements dans les carotides, de palpitations, de nausées, d'un trouble des fonctions digestives, d'une grande lassitude et parfois de syncopes, ceux qui se déclarent dans les Andes du Pérou, et qu'on désigne par les noms de *soroché*, de *mareo* ou de *veta*, acquièrent, dit-on, une violence telle qu'ils méritent de fixer l'attention des médecins explorateurs, et d'autant mieux que l'on n'a pas toujours analysé suffisamment, dans ce cas, le mécanisme de l'action, ordinairement combinée, de la diminution de l'oxygène dans l'air et de la pression atmosphérique, de l'abaissement éventuel de la tem-

[1] *Descendance de l'homme*, t. I, p. 330.
[2] *Influence de la pression de l'air ;* Paris, 1875.

pérature, sous un rayonnement plus facile du calorique, de l'absence d'humidité, et surtout de l'exercice forcé des muscles, et que même, pour en expliquer les anomalies, on a été disposé à soupçonner l'existence, au Pérou, de causes spéciales inconnues, qui ne se rencontreraient pas ailleurs.

Des observations bien faites, de nouveaux documents bien constatés, serviraient à dissiper les doutes et à concilier les opinions. C'est dans ce but que nous croyons devoir poser les questions suivantes :

1° Quels sont les symptômes caractéristiques du *soroché* des Andes péruviennes, propres aux systèmes nerveux, sanguin, pulmonaire ou musculaire?

2° Quelle est la succession normale de ces symptômes, dans les cas les plus ordinaires, et quels sont ceux qui prédominent?

3° Existe-il des symptômes précurseurs de l'attaque aiguë, et quels sont-ils?

4° Remarque-t-on fréquemment, à de très-grandes hauteurs, une tendance aux hémorrhagies nasales, labiales, pulmonaires, oculaires, cutanées, etc., etc.?

5° L'injection de la cornée et l'érythème de la face s'observent-ils, indépendamment de la réverbération de la lumière par la neige?

6° Observe-t-on que la peau prenne une teinte livide ou comme cyanosée à une hauteur qui ne peut être moindre de 3800 mètres, mais qui, sous la latitude du Pérou, doit s'élever jusqu'au niveau des neiges éternelles? Et si ce phénomène se produit, n'est-il que passager à la montée, ou persiste-t-il à l'arrivée au sommet?

7° Lorsque les habitants des hauteurs descendent dans les plaines et vers le bord de la mer, éprouvent-ils un trouble dans leurs fonctions, et en quoi consiste ce trouble?

8° Observe-t-on souvent un trouble moral correspondant au trouble physique, du découragement, ou une irritabilité de caractère?

9° Les accidents du *soroché* sont-ils les mêmes sur les versants orientaux ou occidentaux des Andes, quelle que soit l'exposition des lieux où on les observe?

10° Ne surviennent-ils qu'à la limite des neiges éternelles, comme le soutiennent certains auteurs, ou bien les Andes péruviennes et boliviennes fournissent-elles des exceptions bien constatées à cette règle?

11° Des étrangers aux plateaux des Andes éprouvent-ils le *soroché* lorsqu'ils arrivent à cheval sur les hauteurs de la Cordillère? Et lorsqu'ils en ressentent les atteintes, des efforts musculaires ont-ils ordinairement précédé le trouble des organes de la circulation de la respiration?

12° Les effets du *soroché* diffèrent-ils suivant l'âge et le sexe?

13° Varient-ils suivant les idiosyncrasies, et quelles sont celles qui y prédisposent ou l'éloignent?

14° Quelle est l'influence qu'exercent, sur sa production, et sur ses symptômes, les saisons, les vents régnants, ou les orages?

15° Quelle est l'influence du froid dans les lieux où le *soroché* se manifeste? Indiquer la température moyenne de ces lieux et la température absolue, au moment des accidents.

16° Quelle est l'influence de la sécheresse ou de l'humidité?

17° Est-il prouvé que la hauteur absolue dans l'atmosphère ne suffit pas pour expliquer certaines anomalies locales? Et si le fait est réel, rechercher les causes probables de ces anomalies, soit dans les conditions atmosphériques du moment ou de la localité, soit dans les conditions telluriques, en particulier dans la nature des émanations qui peuvent s'y dégager. Étudier, sous ce rapport, la conformation de ces localités qui pourrait favoriser le séjour des eaux et l'humidité atmosphérique, leur voisinage de terrains miniers, qui pourraient exhaler des vapeurs

minérales, nuisibles, arsénicales ou autres. Ne pas négliger non plus les conditions accidentelles dans lesquelles se trouvent placés les individus ?

18° L'acclimatation des étrangers, relativement au *soroché*, a-t-elle lieu plus ou moins promptement, et quelles sont les conditions qui la favorisent ou la retardent ? Cette acclimatation a-t-elle un résultat durable ou seulement temporaire ? Les nègres éprouvent-ils plus de difficultés à s'acclimater que les blancs ? Et à cette occasion il serait intéressant d'instituer une série d'expériences, pour s'assurer du ryhthme normal du pouls chez les habitants des plateaux, Indiens, nègres et blancs ; en ayant soin de les répéter sur un grand nombre d'individus sains des deux sexes, adultes et d'un âge bien constaté, de faire ces expériences au repos, dans la station et le décubitus, à une certaine distance du repas, et de noter la température extérieure, chaude ou froide, de la saison ?

19° Si les accidents du *soroché* se font sentir chez les animaux, quels sont leurs caractères chez les divers animaux et les conditions qui les font naître ? Quelles sont, en particulier, les causes qui donnent lieu à la maladie des mulets, connue sous le nom de *trembladera* ? Les lamas domestiques et porteurs sont-ils également sujets à cette maladie ?

20° La mortalité de certains animaux (des chats, par exemple), déterminée par leur séjour dans les lieux très-élevés, est-elle ou non un fait constaté ? Et si le fait est avéré, quels sont les symptômes qui précèdent la mort et quelles sont les causes probables de cette mortalité ?

21° Existe-t-il des moyens de se préserver du *soroché*, et s'il en existe, quels sont-ils ? A-t-on essayé, par exemple, au Pérou, comme en Styrie et dans le Tyrol, l'ingestion de petites doses d'arsenic pour prévenir la fatigue des ascensions des montagnes ? Étudier spécialement sous ce rapport les effets de la plante connue sous le nom du *cuca* ou de *coca*, soit mâchée (chiquée), soit prise en infusion, qu'on assure douée d'une propriété prophylactique remarquable ?

22° Quels sont les moyens employés avec le plus de succès pour arrêter ou amoindrir les accidents produits par le *soroché*, soit chez l'homme, soit chez les animaux ? (P. 113-117.)

Ainsi que j'ai dit au début de cette première partie de mon travail, je ne parlerai pas dans cet historique des recherches qui s'appuient sur les résultats de mes propres travaux ou qui en combattent les conclusions. Leur analyse prendra naturellement place dans la troisième partie.

C'est pour cette raison que je ne dirai rien du livre récemment publié par M. Jourdanet[1], et dans lequel il a reproduit en les développant, en les appuyant de preuves nouvelles empruntées à l'étude des altitudes sur la terre entière, les opinions que lui avait suggérées l'observation des maladies du haut Mexique. Je ne veux emprunter à cet immense travail que le récit d'une expérience importante où se montre la première tentative faite pour étudier chimiquement la valeur de l'anoxyhémie :

Je résolus de me livrer moi-même à ce travail d'analyse, vers la fin de 1864. Je

[1] *Influence de la pression de l'air sur la vie de l'homme*, 2 vol. — Paris, 1875.

trouvai un auxiliaire — très-digne d'une mention distinguée dans ce livre — dans le laboratoire et le concours de M. Romuald Zamora, Espagnol recommandable, qui s'occupait de sciences dans ses heures de loisir. J'analysai le sang de trois lapins au moyen de l'oxyde de carbone, en suivant les indications données par M. Claude Bernard. Je trouvai une moyenne d'oxygène fort basse, mais pas assez pour qu'on pût s'en croire autorisé à des conclusions générales bien légitimes. Je me voyais d'ailleurs hésitant en présence d'une considération que j'estimais de grand poids : c'est que l'on pourrait toujours se demander si ce ne serait pas cette même quantité d'oxygène que ces mêmes animaux eussent donné à des niveaux plus inférieurs. Mes différences de dosage, en effet, trouvées dans les analyses de sang faites jusqu'alors, prouvent que la proportion de ce gaz est un fait individuel du moins dans de certaines limites. Il me parût, dès lors, que ce point intéressant ne pourrait être incontestablement jugé que par une double analyse portant sur le sang du même animal, puisé à la pression normale d'abord, et à une dépression plus ou moins prononcée, en second lieu. Je renvoyai donc encore à de meilleurs temps la réalisation de mes désirs. (T. I., p. 181.)

Ces désirs, j'ai eu la bonne fortune, grâce à la généreuse intervention de mon savant confrère, de pouvoir les réaliser. Et l'on verra que j'ai pu constater combien ses prévisions étaient en rapport avec la vérité. Mais je renvoie pour cette démonstration les lecteurs à la seconde partie de mon livre.

C'est dans la troisième partie qu'il trouvera l'histoire détaillée des dernières ascensions aéronautiques à grande hauteur, et notamment de celle qui a eu une terminaison si funeste. Nous aurons à déterminer nettement alors les causes de cette catastrophe et à en tirer les enseignements qu'elle comporte. En nous restreignant à ce qui fait le sujet du présent chapitre, nous dirons que les interprétations données par les divers journaux scientifiques et autres, des causes de la mort de Sivel et de Crocé-Spinelli ne sont autres que celles dont le développement occupe les pages qui précèdent. Rien de nouveau ne s'y trouve qui mérite d'être relevé ici, et toutes ces idées avaient été présentées déjà par des autorités plus considérables.

Nous ne ferons d'exception que pour la courte discussion qui s'est élevée, à ce propos, dans le sein de l'Académie de médecine. On voit que, pour MM. Woillez, Mialhe, Colin, c'est encore la diminution du poids supporté par le corps qui joue le rôle principal ; malgré la physique dont nous avons déjà vu M. Giraud-Teulon, M. Gavarret et bien d'autres leur rappeler les principes élémentaires ; ils en sont encore à la théorie de la ventouse universelle. Mais M. Colin y ajoute une hypothèse qui mériterait à elle seule les honneurs d'une reproduction, car elle n'avait été que très-briève-

ment indiquée par quelques auteurs anciens, et M. Maissiat lui-même n'allait pas jusqu'à lui donner une telle importance. A ses yeux, le dégagement des gaz dans l'intestin, le gonflement de ces gaz par la diminution de pression, a joué dans la terminaison fatale un rôle dominateur. Voici, du reste, le passage tout entier :

M. Larrey : Les ingénieuses expériences de M. Woillez et les recherches nouvelles qu'il pourrait faire sur le *spiroscope* le conduiraient sans doute à des applications désirables pour les observations aérostatiques. Je veux parler d'abord de l'étude physiologique des phénomènes respiratoires à différentes altitudes, et ensuite de la prophylaxie hygiénique des troubles violents de cette importante fonction, suivant d'autres influences. Il aurait à déterminer aussi l'intervention thérapeutique, lorsque l'asphyxie, par exemple, est imminente et provoque des accidents complexes rapidement mortels, par une subite raréfaction de l'air ou par la diminution progressive de la pression atmosphérique. Il s'agirait enfin d'examiner et de contrôler les moyens à l'aide desquels on parviendrait à établir la respiration artificielle, comme dans la cloche du plongeur, comparable, sous ce rapport, à la nacelle des aéronautes.

La fatale catastrophe qui vient de consterner le monde savant et dont les deux victimes ont été inhumées aujourd'hui même, m'engage à soumettre cette remarque à l'Académie, ne fût-ce que comme une digression utile peut-être à l'intéressante communication de M. Woillez.

M. Woillez : Je ne puis ici me prononcer sur un sujet aussi grave; mais il me semble qu'il n'y a pas là qu'une question de respiration, il faut surtout tenir compte de la diminution de la pression atmosphérique contre laquelle l'oxygène qu'on avait emporté ne pouvait absolument rien.

M. Colin : Puisque la question du ballon est soulevée, je demande à dire ce que je pense des causes de la mort des aéronautes. Certainement ces causes sont multiples, surtout celles qui se lient à la diminution de pression ; quelques-unes sont déjà indiquées par les conditions dans lesquelles se trouvaient les explorateurs.

Deux avaient déjeuné et ils sont morts; l'autre était à jeun et il a résisté. Le dégagement des gaz dans l'appareil digestif des premiers a pu jouer un grand rôle dans le développement de l'asphyxie. On sait que ce dégagement est très-considérable chez les ruminants à la suite de l'usage des aliments verts, et qu'il peut, à la pression ordinaire, produire subitement la mort par asphyxie en immobilisant le diaphragme. Sans doute ce dégagement est plus restreint chez l'homme; mais il augmente par le fait du malaise et de l'indigestion, et alors, l'expansion des gaz croissant à mesure que la pression diminue, le diaphragme est bientôt fortement refoulé en haut; ses oscillations deviennent très-restreintes et finissent par devenir impossibles. On sait qu'à un certain moment, en gravissant de hautes montagnes, le voyageur est pris de lassitude, il a bras et jambes cassés; les muscles, irrigués par un sang imparfaitement oxygéné, perdent leur énergie. Or, le diaphragme participe à cette fatigue et il peut finir par tomber dans l'inertie, surtout s'il est refoulé par l'expansion des gaz de l'estomac.

Je sais bien que les aéronautes ont besoin de se prémunir contre le refroidissement, et que le jeûne n'échauffe pas ; mais ils peuvent régler leurs repas de

[1] *Bulletin de l'Académie de médecine.* — *Séance du 20 avril 1875*, 2e série, t. IV, p. 469-461.

manière à achever la digestion avant le départ, et remplacer les aliments fermentescibles par des aliments respiratoires, par des liquides qui excitent et développent de la chaleur.

Ce qui a été observé sur les victimes et sur le survivant indique bien la cause capitale des accidents. Cette cause n'est pas, quoi qu'en dise M. Bert, l'insuffisance d'oxygène, car, dans les expériences, les animaux ne meurent pas avec la dose de ce gaz, telle qu'elle peut être à 7 ou 8000 mètres. C'est bien la diminution de pression, comme M. Woillez vient de le dire, qui produit les troubles graves, les hémorrhagies dans les voies respiratoires, les troubles de la circution, etc.

M. Blot : Les derniers mots de M. Colin me paraissent en contradiction avec ce qu'il disait au début. Ainsi il explique d'abord la mort par le refoulement du diaphragme et du poumon sous l'action de la dilatation des gaz intestinaux, et en finissant il la rapporte á la diminution de pression.

Quant au rapprochement entre les herbivores et l'homme, il me paraît fort discutable.

M. Colin : Je m'étonne de ce que M. Blot voie la moindre contradiction dans mes paroles. J'ai dit que les accidents et la mort dans les ascensions tenaient à plusieurs causes, entre autres le refoulement du diaphragme par les gaz de l'appareil digestif et la diminution de pression sur les tissus et les vaisseaux dans les hémorrhagies pulmonaires, nasales, etc. Chacune de ces causes a une part d'action ; loin de s'exclure, elles se lient.

M. Mialhe : Je pense comme M. Woillez que la diminution de la pression atmosphérique a été la principale cause de la mort, mais je ne puis admettre l'idée de M. Colin, qu'il ne faille pas manger avant de monter en ballon. L'homme n'est pas un ruminant, et les choses ne se passent pas tout à fait chez lui comme chez les herbivores.

M. Colin : Comment ! l'homme a donc des priviléges au point de vue de la digestion ? Est-ce que l'estomac fonctionne autrement dans l'abdomen de l'homme que dans l'abdomen d'un animal ? Le chien qui a mangé de la viande, du pain, a dans l'estomac beaucoup de gaz qu'on peut mesurer en liant l'œsophage et le pylore. Pourquoi ces mêmes aliments ne produiraient-ils pas également des gaz dans l'estomac de l'homme ? Le travail digestif et les fermentations n'ont-ils pas des caractères uniformes dans des espèces si voisines ?

J'aurai à m'expliquer plus tard sur cette question des gaz intestinaux ; mais maintenant, en voyant l'importance que M. Colin semble lui attribuer, je ne puis me défendre d'une réflexion : c'est que le désir de contredire doit être chez certaines personnes une passion bien forte, puisqu'il a pu conduire un physiologiste de cette valeur à commettre de telles étrangetés.

Le dernier document que je mettrai sous les yeux de mes lecteurs est plus curieux encore peut-être. S'il en est, comme je le crains, quelques-uns parmi eux qui ont trouvé qu'en faisant l'histoire du mal des montagnes, j'ai étalé un luxe excessif de citations et de descriptions, ils me pardonneront sans doute cet abus en voyant qu'en 1875, devant la Société de géographie, devant l'Académie des

sciences elle-même, l'existence même du mal des montagnes a été niée, négation qui s'appuie sur la plus étrange des méthodes, ou plutôt qui est l'absence même de méthode scientifique, puisqu'elle ne tient compte que des circonstances dans lesquelles les voyageurs n'ont rien éprouvé pendant leurs ascensions.

La première communication de M. Virlet d'Aoust à ce sujet date du 19 mai 1875. Le compte rendu officiel de la Société de géographie la relate dans les termes suivants :

M. Virlet d'Aoust, à l'occasion de la récente catastrophe du *Zénith*, fait une communication sur les effets de la raréfaction de l'air dans la région des hautes montagnes. Dans une ascension au Popocatepelt, par une altitude de 4500 mètres, il n'a éprouvé aucun autre malaise qu'une fatigue plus accentuée que dans les plaines. Il existe de nombreux exemples dans les Andes de lieux habités à 2000 et 3000 mètres. Mexico est situé à 2300 mètres.

. . . .

Une discussion s'engage relativement à l'influence de la pression atmosphérique sur la vie humaine.

MM. Antoine d'Abbadie, Maunoir, de Charencey, de Puydt y prennent part. Ce dernier membre a parcouru pendant deux ans les vallées des Andes, dans l'Équateur et la Bolivie, vivant à des hauteurs de 4800 mètres, conservant toujours la santé et la vigueur. M. l'abbé Durand confirme cette disposition, d'après M. Stuebel, qui a fait, il y a deux ans, une ascension du Chimbarazo. (P. 552.)

On a pu voir, par le récit que nous avons reproduit de l'ascension de Stuebel (voy. p. 63) dans quelle exagération est tombé M. l'abbé Durand. Mais, sans discuter tout ceci pour le moment, il n'est pas sans intérêt de reproduire plus au long, d'après un journal autorisé, *l'Explorateur*[2], les arguments présentés par M. Virlet d'Aoust et ses savants collègues :

M. Virlet d'Aoust, à l'occasion du déplorable événement du *Zénith*, qui a coûté la vie à deux jeunes savants, MM. Crocé-Spinelli et Sivel, rappelle les circonstances de son ascension au Popocatepetl, en avril 1853, dans le but de faire ressortir les différences considérables qui existent entre les ascensions en montagnes et les ascensions verticales en ballon dans l'atmosphère.

Lorsqu'on s'élève dans l'air à l'aide d'un ballon, dit M. Virlet d'Aoust, on se trouve successivement plongé dans des couches d'air, sinon de compositions différentes, du moins de densités moindres, et où cependant l'acide carbonique, en raison de sa plus grande pesanteur spécifique, doit diminuer de proportion. Ces sortes d'ascensions se font d'ailleurs avec trop de rapidité pour que les organes de la vie humaine aient le temps de se modifier suffisamment pour rendre supportables les différences successives de pressions atmosphériques.

Quand on escalade, les couches d'air ont exactement la même composition que

[1] *Bull. de la Soc. de Géogr.*, 6e série, t. IX, 1875.
[2] 1re Année, 1er vol. — Paris, 1875.

dans la plaine, car ces couches viennent d'en bas par courants, en s'amincissant, jusqu'aux sommets les plus élevés. Il résulte de là que toute expérience ayant seulement pour but de déterminer les différences de composition de l'air à diverses hauteurs doit s'effectuer verticalement en ballon et non en faisant l'ascension d'une montagne.

L'ascension de M. Virlet d'Aoust au Popocatepetl (montagne qui fume) se fit en nombreuse compagnie et fut pour ainsi dire une expédition internationale. Les États-Unis, l'Angleterre, le Mexique, l'Allemagne, la Belgique, la Suisse, l'Italie et la France étaient représentées. . . . .

Bien que la plaine et la ville de Mexico soient élevées environ de 2300 mètres au-dessus du niveau de la mer, on y vit très-bien ; la santé publique y est parfaite et exempte de toute maladie endémique. La station des voyageurs, au pied du cône, était à plus de 4000 mètres de hauteur; ils y étaient arrivés à cheval sans le moindre inconvénient et sans éprouver le plus petit effet de la raréfaction de l'air. Le difficile était l'ascension du cône, véritable pain de sucre qu'il fallait gravir à pied. Cela demande quatre heures d'une marche très-pénible, bien que la descente s'opère en moins d'une demi-heure. Ni M. Virlet d'Aoust ni ses compagnons n'éprouvèrent d'autres inconvénients que ceux résultant d'une respiration un peu plus rapide, avec un peu plus de lourdeur dans les membres. . . . .

De ces expériences, M. Virlet d'Aoust a tiré la conséquence que le prétendu *mal des montagnes* se borne à une grande fatigue résultant principalement de l'alourdissement par la diminution de la couche d'air qui entoure l'explorateur et qui le soutient dans les régions inférieures. . . . .

M. d'Abbadie demande à l'auteur si dans ces ascensions sur des pics élevés il ne se présente pas un malaise qui se manifeste par des étourdissements et des vomissements. M. Virlet d'Aoust assure qu'il n'a rien ressenti de semblable, pas plus que ses compagnons de route. M. de Puydt dit qu'il a parcouru les pics les plus élevés des Andes, depuis l'Équateur jusqu'au 6e degré de latitude nord ; qu'il a franchi des hauteurs de 4800 mètres et qu'il n'a jamais éprouvé aucune de ces fatigues; et pourtant il a fait plus de 450 lieues dans les Andes. M. l'abbé Durand appuie cette opinion en rappelant l'ascension officielle des grands volcans ordonnée par le gouvernement de l'Équateur. Enfin, M. Maunoir dit que l'influence des ascensions, même dans les montagnes, doit varier suivant les conditions de santé et le tempérament du voyageur. (P. 401.)

M. Virlet d'Aoust[1] est revenu sur ce sujet dans la séance du 7 juillet : il suit toujours la même singulière méthode :

M. Virlet d'Aoust, reprenant le sujet étudié dans une précédente séance, sur l'influence de la raréfaction de l'air dans les hautes régions de l'atmosphère, signale une ascension du volcan d'Arequipa ou Misti, dont l'altitude est de 5650m, pendant laquelle les voyageurs n ont point été incommodés (Renvoi au *Bulletin*). (P. 107.)

L'Explorateur du 15 juillet 1875[2] est beaucoup plus explicite :

Le mal des montagnes. A l'appui de ce qu'il a précédemment dit à l'occasion de ses ascensions au Popocatepetl et à l'Ixtaccihuatl, sur le prétendu mal des monta-

[1] *Bull. de la Soc. de Géog.*, 6e série, t. X.
[2] 1re Année, 2e vol. — Paris, 1875.

gnes, M. Virlet d'Aoust signale une autre ascension, celle du volcan Misti, plus souvent désigné sous le nom de volcan d'Arequipa, au Pérou, qui a donné lieu aux mêmes conclusions. Le Dr J. T. Coates, des États-Unis, qui l'a exécutée, est parti le 22 septembre d'Arequipa pour aller coucher au pied du mont, situé à 30 milles au N. E. de cette ville. Le lendemain de très-bonne heure, accompagné de trois guides et muni de deux anéroïdes, il a entrepris l'ascension. La petite caravane put d'abord voyager à cheval; mais, au bout d'une heure, la pente devenant trop rapide et les difficultés augmentant au fur et à mesure qu'elle avançait, elle dut continuer à pied.

Après dix heures d'une marche pénible, elle atteignit enfin, à six heures et demie du soir, le sommet du volcan, mais sans avoir éprouvé ni hémorrhagies, ni difficultés de respirer, ni nausées, ni maux de tête, ni aucune autre de ces sensations pénibles que l'on prétend devoir être ressenties par les personnes qui s'aventurent dans les montagnes à des altitudes de plus de 3000 mètres.. . . .

Enfin, M. Virlet d'Aoust croit devoir signaler une autre ascension bien plus élevée encore qui aurait eu lieu dans la Nouvelle-Guinée. Plusieurs journaux ont annoncé récemment que M. le capitaine anglais Lawson aurait découvert dans cette grande île océanique une montagne qu'il a appelée le mont d'Hercule, laquelle aurait 10 929 mètres de hauteur au-dessus du niveau de la mer, soit 1262 mètres de plus que le pic Everest, de la chaîne de l'Himalaya, considéré jusqu'ici comme le point le plus élevé du monde entier. L'*Explorateur* a dit quelles réserves il fallait apporter dans l'accueil à faire à cette prétendue découverte. Quoi qu'il en soit, d'après son récit, le capitaine Lawson ayant tenté l'ascension du mont d'Hercule, n'aurait pu s'y élever que jusqu'à la hauteur de 8435 mètres, c'est-à-dire à une altitude presque égale à celle qu'aurait atteint le ballon le *Zénith* dans sa dernière et fatale ascension; mais, à cette hauteur, le sang lui serait sorti par les yeux et par les oreilles, et il aurait failli périr par suite de la raréfaction de l'air. Cette affirmation, de même que la découverte d'une montagne qui serait la plus haute du globe, et aurait été si tardivement reconnue, mérite confirmation. (P. 65.)

Rien n'est venu confirmer ce dernier récit, auquel on ne pouvait ajouter foi sans une forte dose de crédulité. Mais je n'insiste pas : dans le chapitre suivant viendront les discussions critiques.

CHAPITRE IV

RÉSUMÉ ET CRITIQUES.

Le moment est venu de résumer la longue série d'observations, d'expériences et de théories dont nous venons d'énumérer les détails. Après avoir, par la méthode laborieuse, mais sûre, des citations textuelles, mis sous les yeux du lecteur à peu près tout ce qui a été écrit sur l'influence de la diminution dans la pression atmosphérique, nous devons maintenant simplifier sa tâche en condensant tant d'assertions variées, souvent redondantes, parfois contradictoires.

Il faut, de plus, soumettre à un examen sérieux les explications émises, combattues, ou éclectiquement cumulées par les voyageurs, les médecins, les physiologistes, les physiciens, qui ont envisagé sous ses aspects divers cette question si complexe en apparence, si simple en réalité, comme nous le démontrerons. Dans cette partie de ma tâche, je devrai, bien entendu, laisser de côté les arguments tirés de mes propres expériences. C'est à l'aide des notions antérieurement connues que j'espère prouver qu'au moment où j'ai commencé mes recherches, il n'existait dans la science aucune théorie — je ne dis pas démontrée, cela est évident — mais pouvant supporter une critique approfondie. La vérité même, lorsqu'elle a été rencontrée, était mêlée à tant d'erreurs ou si peu armée de preuves, qu'elle ne pouvait imposer aux esprits rebelles sa lumineuse évidence. Or, l'on n'a raison que lorsqu'on peut prou-

ver à tous qu'on a raison : Toujours répondre, a dit Voltaire, c'est prouver qu'on n'a pas répondu.

Le présent chapitre se divise tout naturellement en trois parties : les conditions dans lesquelles se manifeste le mal des montagnes, le résumé des symptômes qui le constituent, l'examen critique des théories émises pour l'expliquer.

§ 1er. — Conditions d'apparition du mal des montagnes.

Le fait le plus général qui ressort de notre étude, c'est qu'en s'élevant à de grandes hauteurs au-dessus du niveau de la mer, les hommes et les animaux finissent toujours par éprouver une série d'accidents plus ou moins graves, dont l'ensemble constitue le *mal des montagnes*.

L'existence même de ces accidents a cependant été niée, comme nous l'avons vu ; mais ces négations, généralisations imprudentes et antiscientifiques de quelques cas isolés, ne méritent pas de nous arrêter ici.

Le premier fait qui frappe, lorsqu'on examine la série de ceux que nous avons recueillis, c'est la différence de hauteur à laquelle apparaissent les symptômes fâcheux, suivant qu'il s'agit de voyages en montagnes ou d'ascensions en ballon. Tandis que dans le premier cas, en effet, les voyageurs deviennent parfois malades aux environs de 3000m, et ne dépassent presque jamais, sans souffrances sérieuses, une hauteur de 5000m, Gay-Lussac, Barral et Bixio, M. Glaisher, à 7000m, ont à peine ressenti quelques troubles légers. Nous trouverons facilement, dans un instant, la raison de cette énorme différence.

Sur terre comme dans les airs, la gravité des accidents va croissant avec la hauteur ; mais elle suit, dans sa marche ascendante, une loi de progression, non de proportion. Jusqu'à 3000m, un voyageur parti du niveau de la vallée, à 1000m, par exemple, ne sera averti de la diminution de pression que par une légère accélération du pouls et de la respiration ; de 3000m à 4000m, les accidents augmentent considérablement d'intensité ; au-dessus, chaque dénivellation de quelques centaines de mètres est marquée par leur aggravation progressivement croissante, et il arrive un moment où il est plus difficile de gravir 50m, qu'il ne l'était de monter 500m au début du voyage. Il n'est donc pas étonnant de voir,

comme l'a rapporté le capitaine Gérard, les montagnards du Koonawur, habitués à observer les sensations de cet ordre, estimer l'altitude du point où ils sont parvenus, par la difficulté de respirer qu'ils y éprouvent.

La hauteur à laquelle apparaissent les symptômes du mal des montagnes varie d'une manière remarquable dans les diverses régions du globe. Nous avons vu que, dans les Pyrénées, il n'arrive d'accidents notables, et encore sont-ils très-rares, qu'en approchant des plus hautes cimes, c'est-à-dire au-dessus de 3000^m. C'est à ce même niveau, dans les Alpes, que les récits des voyageurs commencent à signaler quelques troubles ; ils sont assez habituels entre 3500 et 4000^m ; au-dessus, leur existence constitue une règle à laquelle échappent beaucoup moins de personnes que ne voudraient le faire croire les rédacteurs des Clubs alpins. L'Etna, avec ses 3313^m, est, sous ce rapport, comme nous l'avons dit, une montagne *limite*, ainsi que le pic de Ténériffe (3716^m), Dans le Caucase et les montagnes arméniennes, le niveau auquel presque tout le monde est gravement frappé paraît un peu plus élevé que dans les Alpes ; sur les volcans du Pacifique, qui dépassent 4000^m, on ne paraît guère plus malade que sur le pic de Ténériffe ; il en est de même des monts Cameron, et, sur le Kilimandjaro, New atteignit 5000^m environ, sans souffrances sérieuses ; dans l'Amérique du Nord, Frémont et ses compagnons se trouvèrent malades vers 3500^m ; mais au Mexique, il faut, pour éprouver des accidents manifestes, dépasser la hauteur de 4500^m ; encore ne sont-ils pas toujours très-graves au sommet même du Popocatepetl (5420^m). La longue chaîne montagneuse de la Sud-Amérique ne se laisse traverser sur aucun de ses points, du Chili à la Colombie, sans frapper la plupart des voyageurs de la terrible *puna*. Mais il ne semble pas qu'il y ait, pour ces souffrances, uniformité complète de hauteur ; tandis qu'aux passes de Santiago de Chili, beaucoup sont malades par moins de 4000^m, que presque tous les étrangers sont rudement atteints à la Paz (3720^m), et même à Chuquisaca (2845^m), et tous à Cerro de Pasco (4350^m), l'ascension des montagnes voisines de Quito est à peu près inoffensive jusqu'à 5000^m, et mille mètres de plus ne présentent pas d'insurmontables difficultés au point de vue physiologique.

Les immenses montagnes de l'Asie centrale peuvent être comparées aux Andes du haut Pérou, au point de vue de la limite où se manifeste le mal des montagnes. Les passes de moins de 4500^m sont

franchies sans souffrances sérieuses; il en est d'assez fréquentées qui ont plus de 5500^m; plusieurs voyageurs ont atteint 6000^m, et nous avons vu les frères Schlagintweit s'élever à la hauteur prodigieuse de 6882^m, sur les flancs de l'Ibi-Gamin.

Ces inégalités, au point de vue de notre étude, entre les diverses régions montagneuses du globe, se dégagent de la multitude des faits que nous avons cités ; mais on y trouvera aisément des exceptions nombreuses à ces règles générales. En effet, et ce n'est pas le fait le moins intéressant que nous révèlent ces observations multiples, on voit, dans une même région du globe, dans une même masse montagneuse, que certains lieux déterminés sont particulièrement redoutés des voyageurs et des indigènes ; et ces lieux ne sont pas toujours les plus élevés, tant s'en faut. Cette singularité s'observe même dans l'ascension d'une montagne donnée : tel le *Couloir* du Mont-Blanc, où apparaissent souvent des troubles qui se dissipent au sommet. En un mot, et ces faits ont été particulièrement signalés dans les Andes et dans l'Himalaya, l'intensité des accidents n'est pas toujours en proportion de la hauteur atteinte. Là s'est trouvée l'origine d'étranges hypothèses imaginées par les indigènes, et auxquelles les voyageurs ont trop souvent accordé foi ; de là, en effet, la croyance aux émanations métalliques, aux gaz méphitiques sortant de terre, aux exhalaisons funestes de diverses plantes.

Mais, sauf ces exceptions fort intéressantes, que nous essaierons d'expliquer dans une autre partie de cet ouvrage, les différences de hauteur moyenne auxquelles apparaissent les troubles graves suivant les parties du monde où on les observe, sont, lorsqu'on les considère d'ensemble, dans un rapport remarquable avec celles des hauteurs où se maintiennent les neiges perpétuelles. Le résumé que nous avons inséré plus haut (voir page 18), sur ce dernier sujet, facilite pour le lecteur cette comparaison. Mais il ne faudrait pas aller jusqu'à croire, comme l'ont fait quelques voyageurs, qu'il existe une relation directe, et presque de cause à effet, entre ces deux ordres de phénomènes si distincts. Tout d'abord, bien évidemment, on ne s'est jamais plaint du mal des montagnes dans les régions polaires, où les moindres collines restent éternellement recouvertes de neige. Mais, sans recourir à cette démonstration par l'absurde, nous voyons que, dans nos Alpes, c'est presque toujours à 500^m au moins au-dessus de la limite de fusion que se manifestent les troubles physiologiques avec une intensité suffisante pour appeler l'attention. Il en est de même sur les volcans de l'Équateur

et du Mexique, les Montagnes Rocheuses et bien d'autres points. Au contraire, sur les Andes boliviennes, et encore plus dans l'Himalaya, les récits précédemment publiés nous montrent les voyageurs fort malades, alors qu'ils foulent le sol ferme, et sont encore assez éloignés de la zone éternellement glacée. Mais il n'en est pas moins vrai de dire que, d'une manière générale, plus élevée sera la limite des neiges perpétuelles, plus tard, dans les ascensions, les voyageurs seront menacés des accidents que nous avons tant de fois décrits.

A côté de ces inégalités dues aux circonstances extérieures, il en est qui dépendent des personnes elles-mêmes qui se soumettent à l'influence de la décompression.

Tout d'abord, en effet, dans la même région, sur la même montagne, on voit les voyageurs tantôt se plaindre de souffrances sérieuses, tantôt se réjouir ou s'étonner de n'avoir presque rien ressenti. Au passage du Cumbre d'Uspallata, la plupart de ceux qui font la traversée des Andes sont frappés de la *puna;* Samuel Haigh, Schmidtmeyer et bien d'autres en ont porté témoignage : or, nous avons vu Miers, Brand, Strobel, etc., y échapper complétement. Tandis que de Humboldt et Bonpland furent très-malades dans leurs ascensions du Chimborazo, M. Boussingault et le colonel Hall, qui les dépassèrent en hauteur, n'éprouvèrent que de faibles symptômes, et M. Jules Rémy, qui dit avoir atteint le sommet, affirme n'avoir ressenti aucun symptôme de malaise. Au Popocatepetl, le baron Gros et ses six compagnons, puis M. Laverrière, se plaignent de véritables souffrances; MM. Turqui et Craveri, M. Virlet d'Aoust, déclarent avoir été complétement épargnés, tandis que la Commission scientifique du Mexique fut un peu moins favorisée.

Ces différences sont encore plus frappantes sur les montagnes moins élevées. Nous avons vu Riche et Blavier, atteints d'hémoptysie, renoncer à gravir le sommet du pic de Ténériffe, auquel parvinrent sans encombre de Humboldt, Léopold de Buch, Elie de Beaumont[1], et tant d'autres. Sur l'Etna, le comte de Forbin, A. de Sayve, souffrirent beaucoup, tandis que Spallanzani demeura indemne, et que Ferraro prétendit s'y porter mieux que dans la plaine.

De même pour les Alpes. Dans les centaines d'ascensions dont son sommet a été le but, le Mont-Blanc nous a présenté les plus

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XX, p. 1502; 1845.

contradictoires résultats. De Saussure, Beaufoy, Clark et Sherwill, Hawes et Fellowes, Bravais, Martins et Lepileur, accusent de violents malaises, dont ils ne purent triompher que par des prodiges d'énergie; au contraire, Clissold, Piachaud, Albert Tissandier, furent à peine malades. J'ai entendu des « alpinistes » réputés affirmer qu'ils n'avaient absolument rien éprouvé d'extraordinaire dans cette ascension jadis si redoutée. Or, par un contraste saisissant, Laborde, le frère de M. Lepileur, etc., furent malades en montant simplement au Grand-Saint-Bernard (2490^{m}); Spitaler et ses compagnons racontent, sur leur ascension au Venediger (3675^{m}), les plus pénibles détails, alors que Desor, que Gottlieb Studer affirment n'avoir absolument rien ressenti en montant à la Jungfrau (4170^{m}). En Arménie, nous voyons Radde se coucher épuisé à 3700^{m}, tandis que les montagnes voisines et bien autrement élevées, de l'Elbrouz (5620^{m}), du Kasbek (5030^{m}), et de l'Ararat (5155^{m}), ont vu d'intrépides voyageurs fouler presque impunément leurs cimes. Bien plus, en 1868, Freshfield, Moore et Tucker font sans souffrances l'ascension du Kasbek; en 1874, des montagnards non moins expérimentés, Gardiner, Grove, Walker et Knubel souffrirent notablement dans la même ascension. Je ne citerai pas d'autres exemples. Il suffit de se reporter à ce que nous avons dit dans les chapitres précédents, pour trouver, parmi tant d'observations, des exemples d'inégalités non moins considérables constatés dans les Pyrénées, l'Himalaya et les autres régions montagneuses.

Ces différences sont surtout saisissantes lorsqu'elles se manifestent sur des voyageurs qui, dans des conditions semblables en apparence de santé, d'hygiène, d'exercice antérieur, exécutent simultanément une même ascension. Sur le Pichincha, Ulloa tombe en défaillance; La Condamine ne ressent aucune difficulté dans la respiration. En montant au Cotopaxi (5943^{m}), un des muletiers de Stuebel fut tellement malade qu'il ne put dépasser 5600^{m}; un autre ne sentit absolument rien. Sur le mont Etna, de Gourbillon n'éprouva rien, tandis que son compagnon Wilson souffrit étrangement. Dans l'ascension du Finsteraarhorn (4275^{m}), Hugi se trouvait fort bien, de même que ses compagnons, sauf l'un des plus vigoureux guides de l'Oberland, qui eut des vertiges et des nausées. Sur le glacier de la Maladetta, Néergaard s'arrête, incapable de continuer une ascension que termine sans accident le célèbre géologue Cordier. MM. Lortet et Durier montent le même jour au Mont-Blanc : les récits de leurs sensations sont aussi dissemblables que

possible. A 5300^m, Crocé-Spinelli est pris dans son ballon d'une oppression manifeste; ses compagnons de voyage déclarent ne rien éprouver.

Mais ce n'est pas tout : la même personne exécutant, dans des conditions qui lui semblent identiques, la même ascension à deux reprises différentes, ne se comporte pas toujours de même. A sa première ascension du Buet, le chanoine Bourrit tombe sans connaissance; l'année suivante, il n'éprouve rien de particulier. Sur le Breithorn (4100^m), M. Lepileur, en 1875, ne ressentit aucun malaise, tandis que l'année suivante il y fut pris d'un sommeil invincible. Semblable inégalité entre les trois ascensions du Mont-Blanc par M. Tyndall, et les deux par M. Lortet. Les observations faites sur les guides sont encore plus concluantes.

Il faut enfin noter que, tandis que certaines personnes semblent extrêmement sensibles aux effets des ascensions, d'autres dépassent sans se plaindre le niveau où la grande majorité des voyageurs est frappée des malaises habituels. Nous avons vu que le Dr Martin de Moussy avait ressenti la *puna* à 1970^m, tandis que Jules Rémy a pu monter à peu près impunément au sommet du Chimborazo (6420^m). Victor Jacquemont semblait particulièrement indemne sous ce rapport, comme on peut le voir dans les extraits de ses lettres. Ce sont là, du reste, des faits bien connus de tous les « mountainers; » on sait que certains guides sont incapables de suivre « leurs messieurs » à partir d'un certain niveau, et des voyageurs, intrépides et infatigables dans les montagnes de second ordre, ont dû renoncer à atteindre les plus hauts sommets des Alpes.

Les nombreuses ascensions dont nous avons énuméré les récits diffèrent donc en définitive les unes des autres, par rapport au mal des montagnes, d'abord par des raisons qui paraissent dépendre de la montagne elle-même, puis par des raisons qui dépendent des voyageurs, ces dernières pouvant être constantes et pouvant aussi n'être que transitoires. Les extrêmes de ces différences peuvent osciller entre 1500^m (M. Javelle) et 6000^m; c'est là ce qui explique, sans les justifier, les dénégations inconsidérées que nous avons tant de fois enregistrées.

Nous devons maintenant nous attacher spécialement à l'étude des influences d'ordre transitoire, et chercher, en analysant d'une manière plus détaillée les relations citées, s'il est possible d'expliquer ces différences par certaines conditions de milieu, par les circonstances dans lesquelles se sont trouvés accidentellement les

voyageurs ou par cet ensemble de conditions intrinsèques propres à chacun de nous, dont les unes sont susceptibles de mesure, les autres plus ou moins inconnues et qu'on désigne par les expressions générales de tempérament et d'idiosyncrasie. C'est ici le lieu de rechercher l'influence de l'habitude, de l'acclimatement, de tenir compte de la race humaine à laquelle appartient le voyageur.

Sous ce dernier rapport, les résultats observés semblent bien contradictoires : tandis que d'Orbigny, Pœppig, Tschudi, de Saint-Cricq, Weddell, les frères Grandidier, etc., remarquent avec étonnement l'immunité des Indiens qui courent à côté de leurs mules sans laisser paraître le moindre malaise, nous voyons, dans l'ascension de de Humboldt au Chimborazo, un métis né sur les hauts lieux souffrir plus que les Européens ; de même, Caldcleugh, Brand, Stuebel voient leurs péons malades alors qu'eux-mêmes n'éprouvent presque rien ; cependant, d'une manière générale, il est évident que, dans les Andes, les Indiens résistent beaucoup plus que les Européens aux effets du mal des montagnes.

Je ne puis m'empêcher de citer à ce propos un passage d'une lettre pleine d'intérêt qu'a bien voulu m'écrire un ingénieur français, M. E. Roy, ancien sous-directeur de l'école des arts et métiers de Lima, qui a beaucoup fréquenté les hautes régions des Andes :

La race indigène indienne est forte et vigoureuse, la nature ou l'effet d'une espèce d'atavisme l'a douée d'un puissant appareil respiratoire qui lui permet, probablement par la respiration d'une plus grande quantité d'air, de retrouver l'équivalent d'oxygène nécessaire à son existence et au maintien d'une bonne constitution. L'Indien de ces hauts plateaux est trapu, a le torse et le bassin énormes et les jambes relativement courtes ; c'est un marcheur de premier ordre. Chaussé de ses doubles bas de laine et de ses mocassins, il fera 50 kilomètres, sans sourciller, dans ses montagnes, et, pourvu qu'il ait des feuilles de coca à mâcher, il fera ce trajet d'un trait. C'est bien pour lui et ses lamas que le plus court chemin d'un point à un autre est la ligne droite : il ne cherche pas à contourner les vallées pour aller de l'une dans l'autre, il pique droit devant lui, si la déclivité de la montagne n'est pas infranchissable : c'est vous dire combien il faut qu'il respire librement.

En retour, quand ces montagnards descendent sur le bord de la mer, ils ne peuvent se livrer à un travail pénible, comme dans leurs montagnes ; beaucoup deviennent poitrinaires. Ainsi, à l'école dont j'étais sous-directeur, beaucoup de jeunes gens venant de ces hautes contrées ont dû, pour cette cause, retourner à l'air natal avant d'avoir fini leurs études, à cause du travail de l'atelier trop pénible pour eux.

Le contraire paraît résulter des récits faits par les voyageurs de l'Asie centrale. Déjà Fraser se plaint vivement de ses coolies. D'après

le Dr Gérard (p. 148), les habitants du Koonawur, nés sur les hauts plateaux, sont aussi malades que les voyageurs. Johnston raconte que tandis que les indigènes qui l'accompagnaient sur le pic de Tazigand respiraient avec la plus grande peine, lui et ses compagnons anglais ne ressentaient aucune souffrance (p. 150). Oliver Cheetam, Godwin Austen, Henderson, racontent des faits semblables. Pour les frères Schlagintweit, la différence des races est de peu d'importance. Drew a vu un natif du Pendjâb malade à 11 000 pieds (3300m). Ainsi, les Indiens, même ceux qui sont nés dans les régions montagneuses, semblent au moins aussi sensibles que les Européens aux effets des ascensions.

De même, en Afrique, dans les ascensions des monts Cameron et du Kilimandjâro; de même à Hawaï, sur le Mauna-Loa, les indigènes ont été frappés du mal des montagnes avant les voyageurs européens, et plus gravement qu'eux.

Mais il convient de dire, dès maintenant, qu'indigènes et Européens n'étaient pas, pendant ces voyages, dans des conditions identiques, au point de vue des vêtements, de la nourriture et du travail.

Si des indigènes appartenant à des races qui semblent, suivant l'expression du Dr Gérard, « nées pour vivre et mourir dans des régions inaccessibles, » sont atteints par l'influence de la montagne, il doit en être de même, à plus forte raison, des populations de races européennes, qui habitent les hauts lieux. Tous les récits du chapitre Ier montrent, en effet, les porteurs et les guides malades aussi vite et aussi gravement que les voyageurs, lorsque ceux-ci ont déjà l'habitude de l'exercice en montagnes. Quelquefois même, ce sont eux qui en sont pris les premiers; le récit de Dolomieu (p. 76) est tout à fait caractéristique. Le léger avantage qu'ils présentent, en moyenne, est assez rapidement acquis par les gens des plaines que l'humeur vagabonde pousse dans la montagne.

Une autre preuve, et non la moins saisissante, du peu d'importance de l'accoutumance au séjour des hauts lieux, se tire de l'intensité avec laquelle le mal atteint les animaux domestiques. Tous les récits des voyageurs dans les Andes et l'Himalaya sont riches en détails attristants sur le piteux état des mules ou des chevaux qui portent les fardeaux; ces derniers périssent fréquemment; les chameaux ne se comportent pas mieux; les mules de de Saussure poussaient des cris plaintifs sur le glacier de Saint-Théodule; les bœufs sauvages eux-mêmes, quand on les chasse, vomissent souvent le sang, dit de Humboldt, et l'on a vu quelle triste figure ils faisaient par-

fois, selon de Castelnau, dans les combats de taureaux. Les chiens sont également très-durement frappés, et ont de la peine à courir. Les chats surtout paraissent présenter une susceptibilité excessive, puisque, selon Pœppig et Tschudi, ils ne peuvent pas vivre au-dessus de 4000^{m}. (P. 43, 49.) Il convient cependant de faire remarquer que, d'après Tschudi et Elliotson, les animaux nés dans la montagne sont moins malades que les autres.

Mais il faut avouer que tout ceci se rapporte aux animaux domestiques importés. Les espèces indigènes paraissent fort à l'aise aux plus grandes hauteurs; seul, le capitaine Webb a vu des yacks atteints de la maladie (p. 144); les lamas en semblent tout à fait exempts, eux qui, du reste, à l'état libre, paissent à des hauteurs de plus de 4000 mètres Enfin, depuis Ulloa, tout le monde a été frappé d'étonnement en voyant les condors planer habituellement à 4 ou 5000^{m}, et dépasser quelquefois 7000 mètres; dans l'Himalaya, les huppes et d'autres passereaux habitent par plus de 5000 mètres.

Nous touchons ici à l'un des points les plus intéressants de cette revue d'ensemble. L'influence de l'habitude, l'accoutumance au mal des montagnes, est indéniable; mais on en a tout à la fois exagéré et mal déterminé les conditions.

Au témoignage de d'Orbigny, de Pœppig, de Gay, de Tschudi, de Guilbert, on s'habitue parfaitement à vivre dans les hautes régions des Andes, et les malaises souvent insupportables qui frappent l'Européen dans les premiers jours disparaissent graduellement. « Dans les rues, dit Guilbert, on reconnaît facilement les nouveaux venus; tous les quarante ou cinquante pas ils s'arrêtent quelques secondes. » (P. 57.) Des effets analogues ont été remarqués dans nos montagnes d'Europe; tel novice qui, arrivant des plaines, est malade à une faible hauteur, pourra, plus tard, faire impunément des ascensions beaucoup plus élevées. Mais il ne faudrait pas croire que cette immunité soit absolue; un changement de niveau un peu considérable, des circonstances particulières, font soudain reparaître le malaise disparu; nous en trouverons la preuve dans les récits de M. Weddell, de M. Pissis, de d'Orbigny lui-même. En un mot, il en est de l'arrivée en montagne comme de tous les changements brusques auxquels nous pouvons nous soumettre; un certain temps écoulé laisse rétablir l'équilibre un instant ébranlé, et que des transitions plus ménagées auraient permis de conserver.

Nous essaierons de préciser plus tard la nature et l'importance des conditions changées par le fait de l'ascension; mais, dès main-

tenant, nous pouvons constater la réalité de l'accoutumance, ou, comme on dit d'ordinaire, de l'acclimatation sur les hauts lieux.

Mais nous ne parlons ici, nous ne saurions trop le redire, que des accidents violents et soudains du *mal des montagnes*, en un mot; nous n'avons nullement l'intention de nous jeter dans l'étude délicate, complexe, où les moyens de démonstration sont d'autant plus nombreux qu'ils sont moins probants, de l'acclimatation véritable, sur les hautes régions, des générations successives tendant à la constitution d'une race.

Tout en faisant quelques réserves, car il paraît prouvé que certaines personnes ne peuvent s'habituer au séjour des hauts lieux, nous constatons simplement qu'un voyageur arrivé depuis quelque temps dans la montagne n'éprouvera rien d'extraordinaire là où il était, à ses débuts, malade; que ses descendants, s'il y fait souche, conserveront son immunité relative; que la race qui se sera ainsi formée jouira des mêmes avantages, jusqu'à frapper d'étonnement le voyageur nouveau venu. Mais sous la réserve déjà faite qu'il n'y a là rien d'absolu.

Encore faudrait-il bien s'entendre sur la question d'habitude. En effet, ainsi que nous allons le dire dans un moment, la fatigue est un élément considérable, dans l'intensité du mal des montagnes. Or, l'une des conséquences de l'exercice prolongé en montagnes, c'est la moindre disposition à la fatigue. Il en est de cette gymnastique spéciale comme de toutes les autres; on arrive à ne faire contracter que les muscles, que les faisceaux musculaires indispensables pour le mouvement qu'on cherche à obtenir; on ne les amène qu'au degré de contraction précisément nécessaire; en un mot, on réduit à son minimum la dépense des forces. De plus, les muscles, et sans doute aussi les nerfs, sollicités plus fréquemment à l'action, dont une circulation locale plus active enlève sans cesse les déchets, peuvent fournir à un emmagasinement et à une décharge dynamiques plus considérables, deviennent, comme on dit, plus forts, et, pour un même travail, donnent à un bien moindre degré la sensation de fatigue.

De là suit qu'on se dispose à l'accoutumance sur les hauteurs par le simple exercice gymnastique des ascensions médiocres dont les « alpinistes » de profession ont toujours soin de faire précéder leurs prouesses à grande hauteur. Faute de s'astreindre à cette règle, les plus énergiques payent souvent leur tribut. Un des membres du Club alpin autrichien, des plus familiers avec les sommets élevés des

Alpes, qui se vantait à moi de n'avoir jamais rien ressenti au mont Rose ni au mont Blanc, m'avoua avoir été fort malade un jour pour avoir fait, en sortant d'une vie sédentaire, et sans nulle transition, une ascension de 2500^{m}. C'est là une des raisons pour lesquelles les médiocres montagnes de la vallée de Chamounix, le Buet, parfois même le Brévent (2525^{m}), rendent malades les voyageurs qui arrivent par Genève; c'est aussi cette absence d'entraînement qui explique la fréquence des accidents du mal des montagnes dans l'ascension du mont Blanc, alors que celle du mont Rose est beaucoup moins redoutée sous ce rapport; c'est que la première est souvent faite par des novices ou même par des « mountainers » expérimentés, mais qui, quelques jours avant, vivaient dans l'atmosphère de Londres ou de Paris, tandis qu'on n'atteint généralement au mont Rose qu'après une série d'exercices préalables qui ont discipliné l'appareil locomoteur.

Les exemples de l'influence de la fatigue sont nombreux dans les récits mêmes que nous avons cités.

En faisant l'énumération des symptômes du mal des montagnes, nous aurons à insister sur le fait de son exagération par l'exercice, même le plus modéré. Ici, nous devons simplement signaler les cas où il n'apparaît que sous l'influence de la fatigue, et nous pouvons même dire, d'une fatigue passagère, due à un exercice violent. J'ai moi-même ressenti des accidents assez sérieux, pour avoir fait au pas gymnastique une course ascendante de près d'un kilomètre, sur la route du grand Saint-Bernard, à une hauteur qui ne devait pas dépasser 1500^{m}. C'est à l'influence de la fatigue, des charges portées à dos d'homme, qu'il faut rapporter, pour une grande part, les malaises violents qui frappent parfois les péons des Andes et surtout les coolies de l'Himalaya, avant les voyageurs européens.

Ceux-ci, du reste, se laissent d'ordinaire transporter tranquillement sur le dos des chevaux, des mulets ou des yaks. Nous avons énuméré bien des cas dans lesquels la maladie les frappait soudain, aussitôt qu'ils descendaient pour cheminer à côté de leurs montures. S'ils marchent sur un terrain difficile, dans la neige nouvelle où enfonce le corps, la fatigue s'en augmente, et avec elle l'intensité des accidents.

Si, comme l'ont fait d'ordinaire les voyageurs, nous appliquons le mot fatigue non-seulement au résultat de contractions musculaires exagérées, mais à l'influence d'autres causes épuisantes, ce facteur du mal des montagnes prend encore plus d'énergie. Ainsi

l'insommie, le manque de repos et de confort ne sont point à négliger. A leur seconde ascension du Mont-Blanc, MM. Lortet et Marcet furent beaucoup moins malades qu'à la première : ils avaient passé une bonne nuit aux Grands-Mulets. La généralité des malaises, en grimpant cette montagne, tient en partie à ce que le lieu de repos, la cabane des Grands-Mulets, est fort mal installé ; au contraire, sur le mont Rose, se trouve l'auberge du Riffelberg, où l'on se repose à son gré, et où l'on peut demeurer plusieurs jours à une élévation de 2570m.

A la fatigue, à l'insommie, il faut joindre l'alimentation insuffisante ou mauvaise. Les guides sont unanimes pour recommander de manger peu, mais souvent et substantiellement. Un mauvais état de l'estomac ou de l'intestin amène infailliblement les troubles bien avant le niveau habituel. On a vu fréquemment des guides devenir malades assez bas, pour s'être enivrés la veille ; les péons qui ont des habitudes vicieuses souffrent plus de la *puna* que les autres, dit Caldcleugh (page 57).

Telles sont les principales circonstances, variables et accidentelles, qui peuvent modifier l'intensité du mal des montagnes : non-acclimatement, non-entraînement, fatigue, insomnie, mauvaise alimentation, dispositions momentanées mauvaises. Les tempéraments divers paraissent inégalement atteints. Suivant la plupart des voyageurs, suivant A. Smith (p. 47), Tschudi (p. 49), Burmeister (p. 55); Pissis (p. 61), les pléthoriques et aussi les personnes âgées ou très-faibles sont particulièrement frappées. Il n'est pas rare de voir des gens d'apparence assez frêle, mais bilieux ou nerveux, faire impunément des ascensions où échouent des personnes corpulentes. On peut dire qu'ils ont moins lourd à soulever, ce qui a son importance, surtout quand ils cheminent sur la neige, où ils enfoncent moins ; en outre, leur surface pulmonaire est, comme celle des enfants, plus grande, proportionnellement à leur poids ; mais, quoi qu'il en soit de l'explication, le fait est d'observation courante.

L'état de mauvaise santé, pour une cause quelconque, prédispose également à être plus tôt malade. « Quand je ne me portais pas bien, dit Al. Gérard, j'ai souffert à 13 000 pieds, tandis qu'en bonne santé, je n'ai rien ressenti à 16 000 pieds » (p. 149).

Une influence d'une nature générale est celle du froid, qui prédispose au mal des montagnes. C'est, nous l'avons vu, à la région des neiges perpétuelles qu'il apparaît d'ordinaire, et dans les contrées intertropicales, il recule avec elles jusqu'à d'énormes hau-

teurs. Tous les voyageurs sont d'accord pour déclarer que le vent glacé des hauts lieux, lorsqu'il s'élève, rend insupportables les malaises, et peut amener la mort; le fait a été remarqué d'abord dans les Andes par Acosta (p. 27).

Si donc à la fatigue de la marche et des fardeaux portés on joint l'alimentation insuffisante, les privations de la misère, les vêtements impuissants à préserver du froid, on trouve réunies toutes les causes qui peuvent augmenter l'intensité du mal des montagnes. Ces causes, sans parler des habitudes vicieuses, se donnent rendez-vous pour frapper les malheureux coolies indiens et aussi, bien qu'à un moindre degré, les péons des Andes; cela suffit bien pour expliquer la violence avec laquelle ils souffrent ordinairement de la *puna* ou du *bies*, suivant leurs expressions.

Que si maintenant nous nous reportons aux différences signalées dès le début de ce paragraphe entre les diverses montagnes, relativement à la hauteur à laquelle surviennent d'ordinaire les malaises, nous pouvons les expliquer en partie par les observations qui viennent d'être relevées.

Si, sous les tropiques, le mal des montagnes n'arrive guère avant 4500m, tandis que dans nos Alpes il n'est pas rare mille mètres plus bas, la température est certes pour beaucoup dans cette inégalité considérable; ainsi que je le faisais remarquer il n'y a qu'un instant, la zone des neiges éternelles est à peu près celle à laquelle apparaissent les malaises. Si la ville de Cerro de Pasco est si redoutée de tous les voyageurs, c'est que son climat glacé vient augmenter l'intensité des accidents occasionnés par la hauteur. Evidemment, c'est à leur position sous l'Équateur même que les montagnes gigantesques qui environnent Quito doivent en partie l'immunité relative dont ont joui ceux qui en ont fait l'ascension. A Quito, dit Jameson[1], la température moyenne est d'à peu près 14°; le thermomètre oscille entre 18° et 8°.

Mais cet élément n'est pas le seul. Il y a une grande différence, d'après ce que nous avons dit précédemment, entre une montagne située sur le bord de l'Océan, comme le pic de Ténériffe (3715m), par exemple, et une autre de même hauteur dans le massif de nos Alpes, comme le Galenstock (3800m). Pour faire l'ascension du premier, en effet, le voyageur part du niveau de la mer, et franchit d'un coup une hauteur verticale considérable: pour le second, la

[1] *Journey from Quito to Cayambe.* — *Journal roy. geogr. Soc.*, t. XXXI, p. 184-190, 1861.

distance à parcourir est diminuée de 1000^m au moins. La transition est donc, dans ce dernier cas, infiniment plus ménagée. De plus, on ne peut accéder au pied même des montagnes alpestres qu'après avoir fait une sorte d'acclimatement avec entraînement musculaire, au lieu qu'on débarque simplement au pied du Pic ou de l'Etna. Il en résulte que sur ces montagnes médiocres, malgré la température élevée de leur région, les accidents sont encore plus fréquents que sur les montagnes équivalentes des Alpes.

C'est pour la même raison, en outre de leur situation dans la zone torride, que le Chimborazo, l'Antisana, le Cotopaxi, etc., n'occasionnent que de médiocres accidents; la ville de Quito, qui est à leurs pieds, et d'où l'on part après un séjour plus ou moins long, est située par 2910^m, en telle sorte qu'il ne reste que 1950^m à monter en verticale, pour arriver au sommet du Pichincha ; c'est le cas de se souvenir de l'irrévérencieuse comparaison du chanoine Bourrit (p. 15).

Le lecteur peut s'assurer, en passant en revue les voyages à travers les Andes (p. 23-64), que les accidents frappent bien plus généralement et bien plus durement les voyageurs qui vont du Pacifique à l'Atlantique, que ceux qui suivent la route inverse. Pour moi, l'explication de cette singularité apparente se trouve en grande partie dans ce fait, que du côté chilien, l'ascension est extrêmement brusque, tandis qu'elle est lente et progressive pour le voyageur qui va de l'est à l'ouest.

Enfin, la hauteur considérable à laquelle il faut s'élever dans l'Himalaya pour être atteint par le mal des montagnes peut être dué à la même cause. Dans l'énorme massif d'où sortent l'Indus, le Bramapoutra et le Gange, on n'atteint les passages redoutables qu'après avoir longtemps marché sur un terrain montueux, dont les assises de plus en plus élevées préparent lentement à l'influence des grandes hauteurs. C'est là que les transitions sont le plus ménagées : c'est là que les accidents à craindre doivent se faire sentir le plus tardivement, ce qui arrive en effet.

Mais, bien entendu, cette influence considérable doit être rapprochée des conditions climatériques et des autres causes de variations que nous avons déjà signalées. Il nous semble que, sauf quelques cas encore difficiles à interpréter, et sur lesquels la discussion des théories émises jettera quelque lumière, les inégalités si singulières que nous indiquions au commencement de ce paragraphe se laissent à peu près toutes expliquer d'une manière satisfaisante.

§ 2. — Symptômes du mal des montagnes.

Le mal des montagnes, la *veta*, la *puna*, le *mareo*, le *soroche* des Sud-Américains, le *bis*, le *tunk*, le *dum*, le *mundara*, le *seran*, l'*aïs* des montagnards de l'Asie centrale, l'*ikak* des naturels de Bornéo, est constitué, à son maximum d'intensité, par un ensemble de symptômes redoutables, qui portent à la fois sur toutes les grandes fonctions physiologiqnes : l'innervation, la locomotion, la circulation, la respiration, la digestion. Nous allons d'abord les résumer, d'après les récits qui précèdent, en les rapportant à chacune de ces divisions des phénomènes naturels.

Digestion. — La soif exagérée, le dégoût non-seulement pour l'ingestion, mais pour la vue et l'odeur des aliments, le manque de sapidité des liquides, les nausées, les vomissements ont été signalés par presque tous les voyageurs. On mange très-peu sur les hautes montagnes ; Martins et Bravais, avec trois guides, firent un *bon repas* de la ration d'un homme seul. Quant aux accidents violents, rien de plus saisissant que la description faite par Acosta : « Après avoir vomy la viande, les phlegmes et la colère, l'une jaune et l'autre verde, ie vins iusque à jetter le sang » (p. 25). Les pudiques périphrases des voyageurs anglais sur les « soulèvements du diaphragme », « les malaises d'estomac, » laissent entrevoir le tableau énergiquement retracé par le vieux jésuite. On n'aura, dans les récits du premier chapitre, que l'embarras du choix entre les descriptions. Quelquefois l'estomac devient d'une susceptibilité telle, qu'il ne peut supporter une cuillerée d'eau (P. 170).

La diarrhée a été signalée, vraisemblablement comme conséquence des jets de bile lancés dans l'intestin pendant les efforts de vomissement. « Mes compagnons étaient perdus de vomissement et de force d'aller à la selle, » raconte encore Acosta (P. 26). Il faut dire cependant que, dans quelques cas, elle paraît être due simplement au froid, aux pieds humides, etc.

L'ensemble de ces phénomènes est, en tous lieux, ce qui a le plus frappé et le plus effrayé les voyageurs ; c'est à eux qu'est due la vieille comparaison qui a fait donner au mal des montagnes, au *mareo*, son nom significatif.

Sécrétions. — Les troubles sécrétoires sont peu importants ; leur relation d'effet à cause avec l'acte même de l'ascension n'est rien moins que démontrée. Que la sueur s'exagère, l'exercice violent,

l'action directe des rayons solaires, l'expliquent suffisamment. La diminution dans la sécrétion urinaire peut en être la suite, mais plusieurs voyageurs n'hésitent pas à y voir l'influence directe des hautes régions. Du reste, aucune mesure exacte n'a été prise, aucune analyse chimique n'a été faite.

Respiration. — La respiration plus fréquente, plus courte, puis difficile, entrecoupée et anxieuse, a été éprouvée et signalée par tout le monde. L'oppression s'accompagne souvent de douleurs de poitrine. C'est, avec la fatigue exagérée, la première manifestation du mal des montagnes. Les animaux n'en sont pas exempts. Nous avons vu quelle importance ont attachée au nombre augmenté des respirations les théoriciens qui se sont occupés de la question : nous y reviendrons dans un moment.

Les observations de M. Lortet (P. 120) ont précisé les modifications apportées par l'altitude dans le rhythme respiratoire : l'amplitude diminue, si le nombre augmente. C'est aussi ce qu'a constaté Vivenot dans ses appareils (p. 293).

Quant aux conséquences, relativement à la respiration, d'un séjour habituel dans les hauts lieux, les faits rapportés semblent en contradiction avec ces résultats. Pour ne citer que les plus récents auteurs, nous voyons M. Jaccoud affirmer que le nombre et l'amplitude des respirations augmentent sur l'Engadine (p. 311). Drew trouve aussi « la respiration plus rapide et plus ample » (p. 309). M. Armieux arrive au même résultat pour le nombre; de plus il constate une capacité respiratoire augmentée chez les infirmiers de Baréges. Tout le monde paraît être d'accord sur la question de la fréquence ; mais celle de l'amplitude appelle de nouvelles recherches. Il en est ainsi, à plus forte raison, si l'on fait intervenir la question des races (p. 315).

Circulation. — L'accélération du pouls, si elle n'a pas été notée par tous les voyageurs, comme les troubles digestifs et respiratoires, n'est pas moins constante. On peut la constater, alors même qu'aucun sentiment de malaise n'appelle l'observation. En faisant la très-modeste ascension du Nivolet (1558^{m}) près Chambéry (269^{m}), j'ai vu mon pouls et celui de toutes les autres personnes qui composaient notre petite caravane monter de 4 à 8 battements ; il était compté, bien entendu, après un long repos. Le lieutenant Wood ne s'est aperçu que par hasard de la rapidité extraordinaire de son pouls, si bien qu'il se crut alors pris de fièvre (p. 154).

Quand la différence de niveau est très-grande, l'accélération devient considérable. Elle est, du reste, comme l'a dit de Saussure (p. 92), en rapport avec l'intensité du malaise éprouvé. Les nombres extraordinaires de 130, 140 pulsations ne sont pas très-rares dans les hautes montagnes : « Mon cœur, dit mistress Henderson, allait un train de chemin de fer » (P. 160). Nous avons vu Parrot chercher à établir une sorte de rapport, qui aurait pu servir de mesure pour la hauteur, entre le nombre de ses pulsations et l'altitude atteinte (P. 131). Le tableau publié par Lortet (P. 122) est très-curieux sous ce rapport; mais il s'en faut de beaucoup qu'une pareille régularité soit générale. A de grandes hauteurs, l'accélération du pouls devient insupportable; elle s'accompagne de bourdonnements d'oreilles, de battements dans les carotides, dans les tempes, de palpitations plus ou moins violentes, et qui deviennent effrayantes. Cette accélération ne paraît pas impressionnable par l'emploi de la digitale (P. 162).

Cette modification n'est pas transitoire ; elle persiste pendant le séjour dans les lieux élevés. Sur ce point, il est à regretter que les observations précises soient extrêmement rares. Aussi, je crois devoir reproduire ici celles qu'a récemment publiées M. Mermod.

M. Mermod[1] a compté sur lui-même, à maintes reprises, le nombre des pulsations, aux trois stations d'Erlangen (323^{m}), de Lausanne (614^{m}), et Sainte-Croix (1090^{m}); le séjour dans chacun de ces pays durait plusieurs mois. Ces observations ont été faites avec un soin rigoureux, et toutes les précautions nécessaires ont été prises pour que les causes d'erreur fussent inférieures aux variations, évidemment bien légères, que pouvait présenter la circulation sous d'aussi faibles différences d'altitude. Or, la moyenne de 900 observations faites à Erlangen a donné 62,76 pulsations, celle de 577 observations faites à Lausanne, a donné 66,68 pulsations, et celle de 333 observations faites à Sainte-Croix, 68,87. L'augmentation du nombre avec l'altitude a été constatée à toutes les heures u jour.

M. Jaccoud (voy. p. 310) a observé aussi sur l'Engadine une accélération permanente de son propre pouls.

Je dois cependant citer dans un sens inverse les observations du Dr Armieux (p. 313), trouvant une diminution moyenne de 3,85 pulsations de Toulouse (200^{m}), à Baréges (1270^{m}).

[1] *Étude de l'influence de l'altitude sur la fréquence des battements du cœur.* — *Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles*, t. XIII, p. 391-399, 1873.

La fréquence n'est pas seule modifiée dans le pouls. Sa force diminue beaucoup, il devient irrégulier, très-nettement dicrote, de plus en plus petit et dépressible. Les tracés pris par M. Lortet pendant l'ascension du mont Blanc (voy. p. 121) sont des plus nets sous ce rapport. La tension artérielle diminue notablement.

D'autres observateurs ont trouvé au contraire le pouls plein, fort, « vibrant, dit Guilbert, comme dans l'insuffisance aortique. » (Voy. p. 58.) Selon Junod, qui expérimentait en vases clos, il est plein, dépressible, fréquent (p. 239). Sans perdre de force, dit M. Lepileur, le pouls augmente notablement de vitesse (p. 248).

Le système veineux présente des phénomènes non moins frappants; plénitude des vaisseaux, congestion de la peau, des lèvres, des conjonctives; apparence violacée, vultueuse, enflée de la face; lèvres bleues et gonflées.

Puis, parfois, tout à coup, la scène change du tout au tout : la face devient pâle : c'est la syncope qui menace. Elle arrive souvent même, allant jusqu'à la perte complète de connaissance. La station debout la favorise singulièrement. (Voy. p. 85, 109.)

Le plus effrayant, sinon le plus grave des troubles circulatoires, ce sont les hémorrhagies; elles sont plus rares qu'on ne le dit généralement; par ordre de fréquence, on signale d'abord les hémorrhagies nasales et pulmonaires, celles des yeux, des lèvres, des oreilles, les hémorrhagies intestinales; enfin, M. Martins a éprouvé une hématurie légère. Mlle Dangeville vit son époque de menstruation notablement avancée; mais l'exercice violent peut suffire pour expliquer ce fait.

Ces pertes de sang ont été observées chez les animaux, notamment chez les chevaux et les bœufs. Je signale en passant l'importante observation du D[r] Clark, qui remarqua que le sang venu du nez était « d'une couleur plus noire qu'à l'ordinaire » (p. 98).

Locomotion. — La pesanteur des membres inférieurs, le « coup aux genoux », une fatigue que n'expliquent pas les efforts accomplis, sont l'un des premiers signes du mal des montagnes. Nous avons vu, par des citations nombreuses, qu'à une certaine hauteur, il devient impossible aux plus robustes marcheurs de faire plus de quelques pas sans s'arrêter. Et il s'agit bien là de la hauteur, non des difficultés ordinaires de la route en montagnes. « J'ai fait, dit le capitaine Gérard, 34 milles à pied dans des pays qu'appelleraient montagneux ceux qui ne connaissent pas les parties difficiles du Koonawur, avec plus de facilité et en moins de temps que, dans ces

hautes régions, je ne pouvais marcher 12 milles. Quand l'élévation dépasse 14 000 pieds, chaque mille, même quand la route est bonne, demande au moins deux fois plus de temps qu'à la hauteur de 7 à 8000 pieds. » (Voy. p. 149.)

Ce n'est pas seulement la marche qui devient pénible. Le moindre poids fatigue les épaules; un travail, médiocre dans les régions ordinaires, ne peut s'exécuter dans la montagne qu'au prix de véritables souffrances, parfois de dangers. « Nous ne pouvions nous servir de nos bras, dit le Dr Gérard (p. 147), pour briser un morceau de pierre d'un coup de marteau. » Hamel affirme que « la parole même fatigue ». (P. 97.) Et les frères Schlagintweit, qui font la même observation, ajoutent qu' « on ne s'occupe ni du confort ni du danger. (P. 167.)

Je n'ai trouvé de convulsions citées que dans les récits de mistress Hervey (p. 159) et, nonobstant l'irrévérence de ce rapprochement, chez les chevaux dont Liguistin a rapporté l'histoire. (P. 284.) Mais dans l'un et l'autre cas il y a peut-être autre chose encore que l'influence des hauts lieux.

Innervation. — En tête de cette catégorie se placent les maux de tête, si violents, si insupportables, comparés à « un cercle de fer serrant les tempes » (Guilbert), comme si « la tête allait se fendre en deux » (Mrs. Hervey.), dont se plaignent particulièrement les voyageurs dans l'Himalaya.

Les altérations sensorielles, et surtout la dépression intellectuelle, ont été beaucoup moins notées que les symptômes précédents. Cependant, on parle encore assez volontiers des bourdonnements d'oreilles, de la diminution du goût et de l'odorat. L'affaiblissement de l'ouïe est expliqué par la moindre intensité des bruits transmis par un air peu dense. De la vue, il est plus rarement question, bien que nous ayons cité des exemples de voyageurs cessant d'y voir, ou se plaignant d'éblouissements, d'obscurcissements, etc. (Voy. p. 102, 158.) On accuse encore la perte de connaissance, la défaillance totale, suite, dit-on, de la syncope. Mais ce qu'on n'avoue pas volontiers, c'est ce que le capitaine Gérard appelait avec franchise la « dépression des esprits » (p. 149), et Henderson, une « grande prostration du corps et de l'esprit » (p. 170).

Et cependant, quand on lit avec soin les récits des voyageurs, on en trouve presque toujours la trace manifeste. Beaucoup la déguisent sous le nom de somnolence; on ne fait pas difficulté de parler ouvertement d'une envie de dormir qui devient parfois invincible :

mais on ne reconnaît pas aussi aisément que les sens sont émoussés, l'intelligence affaiblie, l'énergie affaissée, que l'esprit est comme le corps envahi par une suprême paresse, ou bien, par une réaction singulière, jeté dans des exagérations malsaines.

Le comte de Forbin déclare cependant (p. 78) qu'il était « affaibli, troublé par les terreurs d'un cerveau fiévreux. La fatigue des sens, l'exaltation de l'imagination, jettent dans un état voisin du délire ». Henderson parle aussi, et de Saussure l'avait fait bien avant lui, d'une grande excitabilité de caractère. D'un autre côté, de Saussure avoue qu'il n'a pas travaillé avec un grand entrain au sommet du mont Blanc. M. Lepileur va plus loin et raconte (p. 111) que ses compagnons et lui cheminaient machinalement, sans penser, pour ainsi dire. Il attribue à cet affaissement intellectuel les contradictions qu'il signale dans les récits des ascensionnistes qui l'ont précédé. Pour moi, qui ai lu des centaines de récits d'ascensions, dans les recueils des clubs alpins de toutes les nations, je ne puis m'empêcher de penser que leur monotonie, leur peu d'intérêt sérieux, le défaut de préoccupations d'ordre élevé qui les caractérise presque tous, tiennent en grande partie à l'inconscient état de dépression mentale dans lequel le séjour des hauts lieux a placé leurs auteurs. La moyenne des narrations d'ascensions faites à de moindres niveaux est infiniment plus intéressante, plus riche en observations extérieures, en manifestations intellectuelles ; les tours de force de gymnastique, les préoccupations culinaires, y tiennent en tous cas une bien moindre place.

Les aéronautes ont signalé des faits analogues, c'est-à-dire une lente dépression, conduisant à l'indifférence et au sommeil : « Les facultés morales s'éteignent avant les facultés physiques. D'abord on n'a ni mémoire ni souci. On oublie la surveillance de l'aérostat bientôt un sommeil lent et doux assoupit tous les membres » (Robertson, p. 192). Dans d'autres cas, il s'agit d'excitation singulière. Enfin, à de grandes hauteurs, l'aéronaute, même dans le calme physique le plus complet, est tout à coup frappé d'insensibilité complète. C'est ce qui est arrivé à Zambeccari et à M. Glaisher.

Tels sont les fâcheux phénomènes que produit l'influence des hauts lieux. Au début, sensation de fatigue inexplicable, respiration courte, anhélation rapide, battements de cœur violents et précipités ; dégoût pour la nourriture ; puis, bourdonnements d'oreilles, angoisse respiratoire, éblouissements, vertiges, faiblesse sans cesse croissante, nausées, vomissements, somnolence ; enfin, affaisse-

ment, obscurcissement de la vue, hémorrhagies diverses, diarrhées, perte de connaissance. Telle est la série ascendante des symptômes, en rapport avec l'altitude atteinte. Parmi tous les récits que nous avons recueillis, qui peignent avec énergie toutes ces angoisses, il n'en est pas, à mon sens, de plus énergique et de plus complet que celui de Tschudi, tombant inanimé sur le sol, dans la Puna glacée du Pérou. (Voy. p. 50.)

La mort même, une mort immédiate, peut être la conséquence de ces graves accidents. Nous en avons cité quelques cas, dans les Andes (voy. p. 35, 40, 46, 49), et dans l'Himalaya (p. 148). Et ce ne sont pas seulement les hommes qui peuvent succomber ; les animaux, chats, chiens, chameaux, mulets et chevaux surtout, périssent plus souvent encore.

L'intensité de ces symptômes est singulièrement exagérée par la marche, la course, une dépense de forces quelconque. Nous en avons eu maints exemples. Ici (p. 102), c'est un des meilleurs guides de l'Oberland qu'un travail un peu énergique rend par deux fois aveugle ; là, c'est le voyageur Weddell, jusqu'alors indemne du soroche, qui est frappé, à la suite d'une course rapide (p. 54) ; c'est de la Taranne, tombant à terre presque sans connaissance, pour avoir voulu doubler le pas tout à coup (p. 39) ; c'est d'Orbigny, qui, se croyant acclimaté, était forcé de s'arrêter chaque fois qu'il valsait (p. 41) ; c'est Hedringer tombant sur la neige, parce qu'il a voulu courir au sommet du mont Blanc (p. 103) ; c'est un habitant des montagnes alpines, qui, s'efforçant de dépasser ses compagnons, roule « comme si on lui avait tiré un coup de fusil » (p. 124). Les voyageurs racontent que c'est à l'ardeur des chevaux, qui s'élancent sous l'éperon, qu'est due leur mort si fréquente, tandis que les mules, patientes et têtues, survivent, refusant de hâter le pas. C'est surtout la marche ascendante qui fatigue et épuise.

Cette influence funeste de l'activité musculaire se fait sentir à toutes les hauteurs. Mais dans les régions moyennement élevées le repos suffit pour en faire disparaître les effets, pour ramener même un calme complet. Et c'est là le caractère le plus remarquable peut-être du mal des montagnes. A l'anxiété du voyageur, à sa fatigue extrême, à son trouble mortel, succède aussitôt qu'il s'arrête, assis ou surtout couché, un bien-être inespéré : le cœur reprend son rhythme, la respiration se régularise, le sentiment de la force revient, le tout comme par enchantement ; si bien qu'au bout

de quelques minutes, étonné tout à la fois de ces malaises inconnus et de cette guérison subite, le voyageur inexpérimenté reprend avec confiance sa marche ascensionnelle. Mais bientôt le voici de nouveau assailli et vaincu.

Sur les montagnes plus élevées, le repos, même le repos horizontal, s'il fait disparaître les symptômes les plus violents, ne ramène cependant pas le calme. Les palpitations, les étouffements, troublent ou éloignent le sommeil. Parfois, un accident étrange se présente : pendant la nuit, au point du jour surtout, des angoisses respiratoires soudaines réveillent en sursaut. (V. p. 42, 58, 59, 143, 160, 166, 169, 170.) Quelques grandes inspirations ramènent le calme ; il faut probablement voir là une conséquence de cet oubli de respirer dont avait parlé de Saussure (p. 90) : l'asphyxie qui menace réveille tout à coup le dormeur.

Telle est la série des accidents qui, à des degrés divers, à des hauteurs diverses, frappent les ascensionnistes et les aéronautes. Il ne semble pas qu'il y ait grande différence, sauf l'intensité, entre les accidents observés dans les diverses régions montagneuses. Si les troubles que nous avons décrits arrivent plus tôt dans nos Alpes que dans les Andes et l'Himalaya, ils n'y atteignent jamais la redoutable gravité qui met en danger dans ces régions la vie des voyageurs et de leurs guides, même indigènes. C'est que la hauteur du mont Blanc (4810^{m}) est le maximum qu'on puisse atteindre dans notre Europe, et qu'on n'y séjourne au plus que quelques heures. Bien différentes sont les conditions dans l'Himalaya, où l'on reste pendant longtemps sur des plateaux dépassant 4000^{m}, en traversant presque chaque jour des passes qui atteignent de 5000 à 5500^{m}.

Une influence fâcheuse dont bien des voyageurs ont signalé les effets redoutables, est celle du vent. « Il court en cet endroit, dit Acosta, qu'il faut toujours citer, un petit air qui n'est pas trop fort ni violent. Mais il pénètre de telle façon, que les hommes y tombent morts quasi sans se sentir. » (P. 27.) M. Lepileur, à un degré bien moins redoutable, a également souffert du vent. (P. 111.) Les frères Schlagintweit s'en plaignent aussi très-vivement (P. 166), et Henderson l'accuse de tuer souvent les voyageurs. (P. 171.)

Beaucoup de récits s'accordent pour déclarer que les accidents sont particulièrement intenses dans les points de la montagne où l'air se renouvelle plus difficilement. Est-ce à l'échauffement de cet air, dilaté par le soleil, qu'il faut attribuer cette inégalité? Est-

ce à l'ennui de la marche dans ces couloirs monotones? Les observations de M. Javelle et de M. Forel tendent à appuyer cette dernière hypothèse. Ils déclarent, en effet, que le mal des montagnes disparaît dans les endroits périlleux (p. 302) et aussi par l'observation attentive du paysage ou de soi-même. (P. 306.)

Il serait peu intéressant d'insister sur les médications opposées par les indigènes aux accidents de la montagne. Ils s'accordent généralement pour proscrire les boissons alcooliques ; en Amérique, ils vantent la saignée, surtout chez les animaux. Dans les Andes on attribue des vertus protectrices à l'ail ou à l'oignon introduit dans les naseaux des animaux; dans l'Himalaya, on emploie des fruits acides et secs. Enfin, à peu près partout on recommande de manger peu et souvent. M. Dufour déclare avoir fait disparaître, en mangeant un seul morceau de pain, un mal des montagnes déjà violent. (P. 304.)

§ 3. — Explications théoriques.

On peut diviser en deux grandes catégories les hypothèses et les théories mises en avant pour l'explication du mal des montagnes : les unes, de beaucoup les plus intéressantes, s'efforcent de déterminer le rôle mécanique, physique ou chimique de la pression atmosphérique diminuée; les autres, les plus bizarres, cherchent ailleurs que dans l'abaissement du baromètre la cause des accidents. Nous commencerons par celles-ci.

Exhalaisons pestilentielles. — Les explications qui mettent en avant des exhalaisons pestilentielles, venant soit du sol, soit de plantes toxiques, doivent nous arrêter un moment.

Elles tirent leur origine de l'ignorance absolue où se trouvaient les populations indigènes de l'existence même d'une atmosphère. Aussi, les Indiens et les Tartares de l'Himalaya, les Peaux-Rouges des Andes et leurs successeurs presque aussi grossiers qu'eux, n'hésitèrent-ils pas à attribuer les accidents qui les frappaient, eux et leurs animaux domestiques, à quelque empoisonnement mystérieux. Dans les Andes, la présence si fréquente des minerais métalliques, l'action si manifeste du mal des montagnes sur les malheureux mineurs, ont fait penser qu'il sortait des métaux enfouis, et particulièrement de l'antimoine, « qui joue, dit Tschudi, un rôle de premier ordre dans leur physique et leur métallurgie, » des émanations funestes pour tous ceux qui passaient sur leurs gise-

ments. De là le nom de *soroche*, qui désigne à la fois l'antimoine et le mal des montagnes.

Dans l'Asie centrale, l'idée des exhalaisons telluriques s'est aussi présentée à l'esprit des populations, surtout du côté de la Chine; nous avons vu que le père Huc n'avait pas hésité, avec sa crédulité habituelle, à déclarer que les accidents du Bourhan-Bota étaient dus à de l'acide carbonique sorti du sol. (P. 249.)

Les montagnes volcaniques, comme l'Etna, le Pic de Ténériffe, les monts de l'Amérique du Nord, ont, à cause des vapeurs délétères qui s'élèvent de certaines crevasses, donné lieu, de la part des voyageurs, à une confusion bien plus excusable entre l'action de la hauteur et celle des gaz méphitiques; nous en avons vu des exemples.

Dans tout l'Himalaya, les montagnards n'hésitent pas à rapporter aux poisons volatils émanant de fleurs ou de plantes les malaises dont ils souffrent. Le plus souvent, les récits des voyageurs s'en tiennent à ces vagues expressions; mais lorsqu'ils prennent plus de précision, on voit apparaître les plus curieuses divergences.

L'auteur chinois que nous avons cité (p. 139) met en cause la rhubarbe. Au moment où Fraser voit ses coolies se plaindre du *seran* et accuser les fleurs qui couvrent le sol, il regarde autour de lui et trouve des primevères, des bruyères, des polyanthus. (P. 143.) Pour mistress Hervey, dont nous avons raconté les misères, c'est une sorte de mousse, la *bôôttee*, que les natifs lui montrent comme cause de tous ses maux. (P. 160.) On ne put faire voir à Cheetam le *dewaïghas*, la plante mystérieuse et toxique. (P. 164.) Henderson rapporte qu'on accusait l'artémise (p. 308), et Drew, l'oignon. (P. 309.)

Ces hypothèses, produit naturel de l'ignorance des indigènes, ont été parfois acceptées par les voyageurs européens. Elles leur servaient à expliquer aisément ce fait curieux, que l'intensité des malaises n'est pas régulièrement proportionnelle à l'altitude, et que dans certains points, quelquefois médiocrement élevés, presque tout le monde est malade. Ce sont surtout les voyageurs des Andes qui croient aux émanations telluriques. Certains diraient volontiers, comme les péons de Brand : « Ici il y a beaucoup de *puna* » (p. 39).

Cependant, bien peu avouent d'une manière nette leur crédulité; ils se contentent de dire qu'il y a des « causes concomitantes, inconnues, agissant avec la raréfaction de l'air » (p. 59); que « la pression atmosphérique n'entre pour rien dans les causes du soro-

che, qu'on doit peut-être attribuer aux émanations du sol ». (P. 62.)

Les voyageurs asiatiques ont été plus prudents. Seul, Hodgson laisse entrevoir une certaine crédulité (p. 233); mais tous les autres se refusent à admettre l'intoxication par les plantes; ceux qui ont daigné s'en occuper déclarent formellement que les malaises arrivent fréquemment là où il n'y a nulle végétation, pas même de mousse : de Fraser à mistress Hervey et à Drew, ils sont tous d'accord sur ce point.

Ces hypothèses n'ont point, à vrai dire, besoin d'autre réfutation. Du reste, l'identité des symptômes morbides attribués ici à l'antimoine, là aux vapeurs telluriques, ailleurs aux émanations de plantes indéterminées, suffit pour montrer qu'ils ont une cause unique, laquelle est en rapport intime avec l'élévation au-dessus du niveau de la mer.

Électricité. — Quand les gens ne savent plus que dire, il y a grande chance pour les voir mettre en cause et invoquer l'électricité. C'est ce qu'a fait le Dr Govan (p. 231) : « Ces phénomènes, dit-il, dépendent de circonstances atmosphériques, moins générales que la diminution de pression, comme l'agent électrique qui doit être en présence de conducteurs si élevés dans un état de constante fluctuation. » Pour Heusinger (p. 256) l'électricité doit agir, car elle est plus forte et moins souvent négative. Mais ces auteurs furent dépassés par le Dr Cunningham, qui déclara que « dans l'hémisphère nord, l'électricité attire le sang à la tête, et dans l'hémisphère sud, aux pieds,... d'où résulte le mal des montagnes, ce qui explique pourquoi le malade est guéri par la position horizontale » (p. 235). Le plus curieux, c'est que cette bizarre doctrine a rencontré des sectateurs (p. 309).

Pauvreté de l'air en oxygène. — C'est l'inégalité d'effet de la hauteur, suivant les régions, qui a mis en tête toutes ces explications singulières. Des hommes sérieux, éminents même, n'ont pas échappé à ce besoin de chercher ailleurs que dans l'influence de la pression diminuée, la cause des malaises éprouvés.

Certains ont cru la trouver dans une altération particulière de l'air ou, pour parler plus exactement, dans sa moindre richesse en oxygène. C'était déjà l'avis de Humboldt (p. 31), qui dit n'avoir trouvé que 20 p. 100 d'oxygène sur le Chimborazo, et attribue une grande influence à cette différence.

M. Boussingault, frappé de ce fait que le mal des montagnes ne survient guère que quand on a atteint les neiges perpétuelles, reprit

une ancienne idée de de Saussure, qui avait prétendu que l'air dégagé des pores de la neige contient moins d'oxygène que l'air libre; il fit une analyse qui ne lui donna que 16 p. 100 d'oxygène, et alors il attribua à cet air vicié, dégagé par l'action des rayons solaires, la suffocation qu'il avait éprouvée (p. 237). A ce compte, on devrait éprouver le mal des montagnes dans les plaines couvertes de neige, par un beau soleil de janvier. D'autres voyageurs (p. 307) ont, sans autre objection, accepté cette hypothèse, que le célèbre chimiste a fini par reconnaître lui-même comme erronée.

Fatigue, froid. — Ce sont deux causes fréquemment invoquées, non à titre adjuvant, ce qui serait exact, mais comme cause principale ou même unique. C'est même là le cheval de bataille de ceux qui nient le mal des montagnes : « Nous pouvons affirmer, dit l'un d'eux, que ce sont les mêmes sensations éprouvées par les voyageurs ordinaires quand ils s'approchent de la cime d'une montagne quelconque » (p. 241). « Ce qui prouve d'une manière incontestable que ces malaises sont dus à la fatigue, dit Bouguer, c'est qu'on n'y était jamais exposé lorsqu'on allait à cheval, ou lorsqu'on était une fois parvenu au sommet, où l'air cependant était encore plus subtil » (p. 218).

Il faut bien avouer qu'à première vue, et pour des accidents légers, la confusion est possible. La rapidité de la respiration, la dyspnée, l'accélération circulatoire, les palpitations, les vertiges même, la pesanteur des membres, sont la conséquence de tout exercice un peu fatigant et prolongé. Mais il suffit de jeter un coup d'œil sur les faits si nombreux rapportés ci-dessus pour y trouver la preuve qu'il s'agit bien là d'une influence spéciale aux lieux élevés : les malaises, nous l'avons vu, arrivent pendant le repos même et le sommeil. Acosta avait, du reste, dès le premier jour, réfuté ces erreurs (p. 207) et aussi de Saussure (p. 223, 226).

C'est cependant la fatigue, mais d'une espèce particulière, qu'invoque encore Rey (p. 243). Les idées de M. Lepileur (p. 247) sont évidemment du même ordre; ce savant médecin donne en effet une importance prépondérante dans l'explication de la lassitude à « la congestion sanguine qui a lieu dans les muscles pendant leur action. » Quant aux autres phénomènes, ils sont le résultat de congestions du poumon et du cerveau, lesquelles dépendent de la répétition incessante des efforts effectués dans l'acte de grimper. De plus, « la raréfaction de l'air, en rendant la respiration plus fréquente et l'anhélation plus rapide, hâte nécessairement le reste des

effets ordinaires de l'effort. » Mais comment la raréfaction de l'air rend-elle l'anhélation plus rapide? C'est ce que ne dit pas M. Lepileur.

Théories de M. Lortet et de M. Dufour. — Voici maintenant deux théories fort sérieuses, qui prouvent une connaissance approfondie des questions les plus difficiles de la physiologie. Leur place est ici marquée, parce qu'elles ne sont, en définitive, qu'une forme scientifique des accusations banales dirigées contre la fatigue et le froid.

Pour M. Lortet, la température propre de l'homme diminue quand il déploie l'énorme quantité de travail nécessaire pour élever à une grande hauteur le poids de son corps. Nous avons rapporté dans toute leur extension les faits observés par Lortet (p. 121) et les conclusions théoriques qu'il en tire (p. 297). Malheureusement, comme l'ont montré MM. Forel (p. 300) et Clifford-Allbutt (p. 302), les observations mêmes du physiologiste français étaient erronées : la température du corps s'élève toujours par l'acte de l'ascension, comme par toutes les gymnastiques violentes.

En s'en rapportant même aux chiffres de M. Lortet, qui prétend que de Chamounix aux Grands-Mulets la température aurait baissé de 2°, et qu'à Chamounix, l'acte de marcher refroidirait le corps de 1°,7, des malaises importants devraient suivre le moindre exercice à ces hauteurs, où jamais cependant on n'a constaté le *mal des montagnes*. D'ailleurs, selon lui, le repos ramènerait presque instantanément la température normale : or, il s'en faut qu'il fasse disparaître aussi tous les troubles.

Il faut dire cependant que M. Forel, n'ayant pas eu le mal des montagnes, n'a pu mesurer sa température dans cette condition spéciale; on pourrait toujours dire, jusqu'à preuve contraire, qu'il la trouverait dans ce cas abaissée. Mais, quand même il en serait ainsi, il faudrait encore admettre qu'un autre élément que le travail doit entrer en jeu, et que la hauteur est cet élément.

Nous parlerons dans un moment des théories sur l'oxygénation insuffisante due à la diminution de pression. En introduisant ce facteur nouveau dans la théorie de Lortet, on pourrait être amené à penser que le travail de l'ascension demandant un surcroît de combustion, et la dose d'oxygène étant trop faible, la chaleur devrait se transformer en mouvement, d'où abaissement de température et, partant, troubles généraux. Mais il faudrait démontrer cet abaissement, et les observations de Lortet sont évidemment en-

tachées de causes d'erreur qui ne leur permettent plus de faire preuve : les expériences même de Legallois (p. 228), si remarquables qu'elles soient, ne pourraient être invoquées en sa faveur, puisqu'il s'agit d'air confiné.

La théorie de M. Dufour (p. 303) est, elle aussi, indépendante de l'idée d'altitude. Pour lui, le mal des montagnes est la conséquence pure et simple de la fatigue, laquelle résulte de l'épuisement des matériaux ternaires emmagasinés dans les muscles ; aussi, il affirme en avoir éprouvé les symptômes même en plaine, après une grande fatigue. Ce ne peut être la simple raréfaction de l'air, dit-il, qui rende malade au sommet du mont Blanc, puisqu'il a fallu que les aéronautes atteignissent 7 et 8000^{m} pour éprouver des troubles sérieux ; du reste, ceux-ci ne ressemblent point à ceux que produit la montagne.

Nous laissons au lecteur le soin d'apprécier la valeur de cette dernière assertion, et quant à l'assimilation du mal des montagnes à la fatigue simple, nous nous contenterons de demander pourquoi elle n'a jamais été faite par des touristes, qui, non sans fatigues sérieuses, marchent toute la journée dans des montagnes de moins de 2000^{m}. Au moins jamais n'ont-ils confondu la lassitude durable qu'ils éprouvent le soir avec le soudain « coup aux genoux » qui brise les membres, et disparaît après quelques instants de repos ; l'essoufflement et l'accélération du pouls dus à une marche pénible ou rapide avec la dyspnée, les palpitations, l'épuisement total qui, à 4000^{m} de hauteur, arrête souvent le voyageur au bout de quelques pas. Il y a donc autre chose que l'usure des matériaux ternaires, et ce quelque chose est la hauteur atteinte ou, pour parler plus nettement, la pression diminuée. Cette objection s'adresse évidemment aux idées de Bouguer, de Lepileur et de Lortet, aussi bien qu'à la théorie de Dufour.

Nous en arrivons maintenant aux théories qui font intervenir cette diminution dans la pression atmosphérique. Les expériences de laboratoire avaient fait voir que les animaux placés sous la cloche de la machine pneumatique y devenaient malades, y périssaient même, quand la pression est suffisamment diminuée, et l'on en avait conclu que la pression de l'air diminuée sur les hautes montagnes devait être la cause prédominante des accidents. Mais comment agit-elle ? Ici les théories deviennent nombreuses.

Diminution du poids supporté par le corps. — L'une des premières qui se soit présentée à l'esprit des voyageurs peut se résu-

mer ainsi : A la pression normale, chaque centimètre carré de notre corps supporte un poids de 1 kil.03, soit, pour la surface entière, un nombre qui doit être, pour un homme de taille moyenne, de 18000 kil. Nous ne sentons pas, disent les auteurs, ce poids énorme qui nous écraserait, grâce à la tension intérieure des fluides du corps qui le contrebalancent ; mais, qu'il vienne à diminuer, aussitôt cette tension, que rien ne maintient plus, poussera les fluides à la périphérie, remplira la peau de sang, la gonflera, la congestionnera et, faisant rompre les vaisseaux, déterminera des hémorrhagies : le corps sera comme plongé dans une immense ventouse. Or, c'est ce qui arrive quand on s'élève dans l'air : à 3300^{m} de hauteur, 5000 kil. auront été enlevés ; à 5500^{m}, la moitié du poids total, soient 9000 kil. Comment s'étonner des troubles graves qui surviennent alors?

Telle est la théorie à laquelle ont adhéré la grande majorité de ceux qui se sont occupés de la question, particulièrement, il faut le dire, des voyageurs et des médecins. Nous la trouvons émise, pour la première fois, en quelques mots, par Bouguer (p. 218). Haller la développe tout au long (p. 220) ; il est vrai que, reprenant une idée singulière de Cigna (p. 216), il déclare qu'il y a une grande différence entre « l'air raréfié par la soustraction d'une partie de lui-même et celui qui est plus léger à cause de la hauteur... Dans celui-ci, bien que diminué de moitié de son poids, la respiration se fait sans difficulté ». Cela n'est pas plus curieux, du reste, que de voir Bourrit prétendre qu'à hauteur égale, « l'air des Alpes est plus rare que celui des Cordillères » (p. 222). De Saussure accepta complétement la théorie du « relâchement des vaisseaux produit par la diminution de la force comprimante de l'air » (p. 224). C'est même cet illustre physicien qui l'a exprimée avec le plus de netteté. Elle fut également acceptée par Fodéré (p. 226) ; Hallé et Nysten (p. 227) ; Gondret (p. 229) ; le Dr Gérard (p. 232) ; Hipp. Cloquet (p. 233) ; Burdach (p. 236) ; Rey (p. 242) ; Brachet (p. 246) ; Lombard (p. 255) ; Heusinger (p. 256) ; Foleÿ (p. 283) ; Scoutetten (p. 288) : nous ne citons que les principaux.

On voit que cette doctrine se présente avec l'appui des noms les plus respectables. Il est vraiment pénible d'avoir à la repousser par une sorte de question préalable, comme absolument contraire aux lois de la physique élémentaire. Mais, bien avant moi, MM. Giraud-Teulon (p. 257) et Gavarret (p. 292) avaient invoqué pour combattre cette erreur le principe de l'incompressibilité des liquides.

Valentin (p. 256) avait même calculé que la suppression d'une demi-atmosphère n'augmenterait le volume du corps que de trois cent-millièmes environ. Il est bien évident que toutes les pressions ou dépressions exercées sur le corps humain s'équilibrent, se contrebalancent immédiatement, en se communiquant à tout le corps, puisqu'il est tout entier composé de liquides et de solides. S'il y a pression diminuée à la surface de la peau, sur la paroi extérieure des vaisseaux sanguins, la diminution est absolument égale sur leur paroi intérieure, et il n'y a rien de changé dans l'état d'équilibre.

Il est vraiment étrange qu'on ait pu sérieusement penser qu'en allant à Cauterets on soit soulagé de 2744 k. (p. 289), et que Gay-Lussac se soit senti en quelques minutes enlever 10 000 k. de dessus les épaules. Si les liquides de l'organisme étaient ainsi réellement maintenus par la pression extérieure, il suffirait de quelques centimètres de diminution de pression pour produire les plus terribles désordres. C'est la comparaison avec la ventouse qui a amené l'erreur : on a oublié que, dans la ventouse, c'est l'effet de la pression sur le reste du corps qui amène le gonflement, la congestion, les hémorrhagies locales.

Sortie des gaz du sang. — Les physiciens, qui ont pour la plupart échappé à l'hypothèse erronée que nous venons de discuter, ont été mieux inspirés en faisant jouer un rôle important à la sortie des gaz du sang, sous l'influence de la pression diminuée. Robert Boyle, le premier (p. 210), avait vu que tous les liquides du corps, sang, urine, bile, humeurs de l'œil, laissent échapper des bulbes de gaz, lorsqu'on les place dans le vide. Il en tira cette conséquence, que chez les animaux qui périssent dans ces conditions, la mort peut être, « en outre du défaut de respiration, » la conséquence de la formation de ces bulles, qui viennent « arrêter ou troubler la circulation en mille manières. » Il pensa même que, lors des variations légères du baromètre, ce sont « les particules spiritueuses ou aériennes qui, retenues en abondance dans la masse du sang, gonflent naturellement le liquide, pouvant ainsi distendre les gros vaisseaux et changer notablement la rapidité de la circulation du sang dans les artères capillaires et dans les veines ».

Borelli eut la même idée et attribua à une sorte d'effervescence du sang les accidents qu'il avait éprouvés sur le mont Etna (p. 213); mais il abandonna bientôt cette idée (p. 217), à laquelle cependant se rallièrent Musschenbroeck (p. 207), auteur d'une dissertation *De*

aeris existentiâ in omnibus animalium humoribus, Veratti (p. 215), Rostan (p. 235), F. Hoppe, qui fit pour les vérifier des expériences sur les animaux (p. 258), Guilbert (p. 266), et enfin Gavarret (p. 292).

On a surtout expliqué par le dégagement ou la tendance au dégagement des gaz du sang, l'accélération circulatoire et les hémorrhagies. « Au moment où la pression extérieure diminue, dit M. Gavarret, ces gaz tendent à se dégager du liquide sanguin, refoulent les parois des vaisseaux de dedans en dehors et distendent les capillaires pulmonaires et généraux, dont les parois, minces et peu résistantes, peuvent se rompre. Tel est le mécanisme de production des hémorrhagies. »

Il paraît, en effet, bien établi, malgré les objections de Ch. Darwin (p. 217), de John Davy (p. 235), de M. Giraud-Teulon (p. 257), qu'à une pression suffisamment basse, il se dégage des gaz dans le sang des animaux vivants placés sous la cloche pneumatique : F. Hoppe n'a même pas hésité à conclure que c'est à ce dégagement gazeux qu'est due, dans ces conditions, la mort des animaux. Mais rien dans les expériences connues jusqu'ici ne prouve que le dégagement ait lieu aux pressions qui coïncident avec le mal des montagnes, ni que la tendance au dégagement puisse amener les troubles dont on l'accuse. Il n'y a nulle comparaison à établir entre un animal amené en quelques minutes à une dépression mortelle et un voyageur qui met six heures à monter de 2000^{m} en verticale. Si les gaz étaient pour quelque chose dans les accidents, les aéronautes, qui subissent avec une extraordinaire rapidité d'énormes changements de pression, devraient être les premiers frappés, et l'on sait qu'il n'en est rien.

Dilatation des gaz intestinaux. — L'idée que la diminution de pression doit dilater les gaz intestinaux n'a évidemment rien d'erroné physiquement; mais de là à conclure que cette augmentation de volume est la cause ou l'une des causes du mal des montagnes, il y a loin. Cependant, Clissold (p. 234) a considéré qu'elle devait singulièrement gêner la respiration et la circulation. M. Lepileur (p. 248) et Speer (p. 253) tendent aussi à lui attribuer quelque rôle; M. Maissiat est plus affirmatif : « Les gaz intestinaux, prenant du volume, distendent tout, jusqu'à rupture. » (P. 245.) Le savant physicien a raisonné comme si l'intestin était une vessie natatoire close, et il a oublié la double communication avec l'extérieur qui, dans la pratique, ne permet aucune distension. Il en est de même

de M. Colin, qui voit une cause de mort dans « le refoulement du diaphragme par l'expansion du gaz » (p. 321).

Relâchement de l'articulation coxo-fémorale.—C'est sous le patronage de l'illustre de Humboldt (p. 238) que s'est présentée cette bizarre explication de la fatigue extrême, de la pesanteur des membres inférieurs, qui accompagnent les hautes ascensions. Elle a été acceptée depuis par beaucoup d'écrivains : Tschudi (p. 243), Meyer-Ahrens (p. 254), Lombard (p. 264), Guilbert (p. 266).

Il est incontestable, comme l'a montré Bérard (p. 238), que la surface de la cavité cotyloïde est suffisante pour permettre à la pression atmosphérique de soutenir le poids de la jambe, alors que toutes les parties molles ont été sectionnées. D'après M. Jourdanet, la pression ainsi exercée équivaudrait à 23 kil. environ. Nous avons vu comment cet auteur a montré, d'après des calculs basés sur la surface de la cavité cotyloïde, qu'au moment où la fatigue du membre inférieur arrive, la pression atmosphérique est encore capable de soutenir un poids double de celui de ce membre (p. 269).

M. le docteur Farabœuf a bien voulu, à ma demande, prendre avec exactitude ces mesures sur un cadavre humain. Voici le résultat qu'il m'a fourni :

Homme de quarante-huit ans, pesant $52^k,5$; taille $1^m,65$, dont $0^m,85$ pour le membre inférieur; bien proportionné, amaigri, mais encore musclé en apparence.

Diamètre de la cavité cotyloïde.	$51^{mm},5$
Surface.	$20^{cq},8$
Poids de l'atmosphère sur cette surface.	$21^k,4$
Poids du membre inférieur désarticulé dans le pli de la fesse et de l'aine.	$6^k,3$
Poids du membre inférieur dépouillé des muscles qui s'insèrent au bassin.	5^k

Ainsi la pression atmosphérique est capable, à elle seule, de soutenir un poids quatre fois plus considérable que celui du membre inférieur dépouillé des muscles qui se soutiennent eux-mêmes par leur attache au bassin. Il faudrait donc aller jusqu'au quart d'atmosphère, soit 19^c de pression, pour voir s'annuler le soutien fourni par la pesanteur de l'air. Évidemment donc, la cause invoquée par de Humboldt n'a rien à voir dans la fatigue qui survient au mont Blanc, sous la pression de 41^c, où l'atmosphère représente encore $11^k,5$.

On a très-certainement exagéré l'influence de la pression sur la

solidité des articulations; cette exagération à part, de Humboldt n'a pas tiré la conséquence vraiment logique du principe qu'il croyait exact. Ce n'est pas une plus grande fatigue musculaire qui devrait survenir, et elle ne devrait pas être limitée aux muscles de la cuisse; ce qu'il faudrait craindre pour le voyageur dans les régions où la pression atmosphérique est diminuée, ce sont les luxations, et cela dans toutes les articulations; or, malgré les efforts extraordinaires qu'entraînent les ascensions, pareil accident n'a jamais été signalé.

Autres actions mécaniques de la diminution de pression. — Borelli attribuait la fatigue à la présence dans le thorax d'un air dilaté qui « n'aide plus, dit-il, l'effort des muscles, en comprimant par son élasticité les vaisseaux aériens et sanguins ». Il n'est pas facile de voir clairement ce que voulait dire le savant iatro-mathématicien. Mais il y a quelque vérité dans ce que nous pouvons supposer avoir été sa pensée. Si, dans le phénomène de l'effort, la cage thoracique se trouve, comme l'a montré M. J. Cloquet[1], immobilisée dans un certain état de gonflement, grâce à l'équilibre établi entre la pression des muscles expirateurs et l'élasticité des gaz intra-pulmonaire que la glotte fermée empêche de s'échapper, la densité primitive de ces gaz ne doit pas être indifférente. S'ils sont raréfiés, l'état d'équilibre n'arrivera qu'avec une contraction plus forte, ou un gonflement moindre du thorax, et cette situation peut être défavorable aux phénomènes d'effort maximum. Mais l'influence ne doit pas être, en tous cas, de grande importance.

La mort des animaux dans le vide avait reçu de Musschenbroeck une explication fort ingénieuse. Il leur avait trouvé les poumons « petits, flasques, solides (p. 207), spécifiquement plus pesants que l'eau », et il avait considéré que la mort est le résultat de l'arrêt dans la circulation que doit amener cet affaissement; le même fait fut constaté par les physiologistes hollandais (p. 212), qui l'interprétèrent un peu différemment. Mais ces explications ne peuvent, en tous cas, s'appliquer aux troubles et à la mort dans un air très-raréfié, mais encore loin du vide parfait. Cigna a depuis bien longtemps fait remarquer que la respiration doit continuer à se faire dans ces conditions, tant que « l'air sera assez dense pour dilater le poumon par sa pression »; or, pour cela, il suffit « que cette pression puisse soumettre la résistance qu'oppose la force contractile du

[1] *De l'influence de l'effort sur les organes renfermés dans la cavité thoracique.* — Paris, 1820.

poulmon, car il n'y a aucun air thoracique qui augmente cette résistance, et cette pression excède à peine celle de deux pouces de mercure. » (P. 216.)

On ne saurait mieux dire, et Cigna répondait, sans le savoir, par avance, à ceux qui feraient jouer plus tard un rôle dans le mal des montagnes à la tendance des poumons à se rétracter en présence d'une moindre densité de l'air intra-pulmonaire. Leur force, c'est-à-dire leur élasticité, équivaut à quelques centimètres de mercure seulement, comme l'avait dit Cigna. Ce ne peut donc être que pour une pression moindre encore que le poumon pourrait quitter le thorax en faisant le vide dans la plèvre. L'action imaginée est donc absolument nulle.

Pravaz est tombé dans une erreur analogue lorsqu'il dit que « la respiration est, dans l'air des montagnes, mécaniquement restreinte dans son étendue par le défaut d'élasticité de l'atmosphère qui presse l'intérieur des poumons » (p. 250). Son opinion est justiciable des mêmes objections. Mais au moins a-t-elle quelque air de vraisemblance, tandis que je ne puis comprendre ce qui a fait dire à A. Vogt que « la pression atmosphérique diminuée aide beaucoup l'ampliation de la cavité thoracique, et par là facilite la respiration » (p. 249).

Le savant médecin lyonnais ne me paraît pas mieux inspiré quand il met sur le compte de la pression moindre les congestions veineuses, parce que « l'appel du sang dans les cavités droites du cœur aura moins d'activité ». Sa comparaison du cœur avec « une pompe fonctionnant dans un milieu où l'air serait très-raréfié, et qui ne pourrait aller puiser l'eau qu'à une profondeur beaucoup moindre » (p. 251) n'a aucune valeur; personne ne croit plus à la dilatation active, aspirante du cœur.

Enfin, nous citerons du même auteur une idée plus juste, relative à l'appel du sang veineux par la dilatation pulmonaire. On peut penser que la puissance de cet appel doit être diminuée par la diminution de pression. Cependant, en y réfléchissant, on voit qu'il n'y a là rien de démontré : la poussée du sang des gros troncs veineux vers le cœur se fait en vertu de la différence entre la tension de l'air extérieur et celle de l'air qui s'introduit dans le poumon en se dilatant, puisque, ainsi que nous l'avons il y a longtemps prouvé[1], chez aucun animal l'orifice de la

[1] P. Bert, *Leçons sur la physiologie de la respiration*. Paris, 1870, p. 581-589.

glotte ne peut suffire au débit de la pompe respiratoire. Il resterait à démontrer que cette différence, la pression négative des Allemands, est moindre dans l'air raréfié que dans l'air normal, ce que nous ne savons nullement, ce qui même n'est pas vraisemblable.

Excès d'acide carbonique dans le sang. — Nous avons rapporté avec tous les développements qu'elle mérite la curieuse théorie de M. Gavarret (p. 287), expliquant le mal des montagnes par un véritable empoisonnement par l'acide carbonique. Selon le savant professeur, l'acte de l'ascension nécessiterait un tel surcroît de combustion organique, que l'acide carbonique qui en est la conséquence ne pourrait plus être expulsé assez vite, malgré l'augmentation du nombre des mouvements respiratoires et des battements du cœur. De là un emmagasinement qui amène des accidents toxiques; de là l'amélioration qui suit immédiatement le repos, pendant lequel l'évacuation se fait pour le gaz en excès.

Nous avons vu cette théorie acceptée par M. Leroy de Méricourt, par M. Aug. Dumas, par M. Scoutetten, par M. Lortet (p. 299) et beaucoup d'auteurs modernes.

Je n'insiste pas sur la différence qui existe entre les symptômes du mal des montagnes et ceux de l'empoisonnement par l'acide carbonique. Mais il est bien évident que la théorie de M. Gavarret est susceptible de la même objection que nous avons victorieusement opposée aux théories invoquant la fatigue et à celle de M. Lortet. Il est clair, en effet, que la quantité d'acide carbonique qui doit être produite pour élever le corps de 1000^{m}, par exemple, est indépendante de l'altitude; d'où il résulte qu'il devrait y avoir excès de gaz emmagasiné, et par suite malaises, aussi bien en montant de Chamounix (1050^{m}) à la Pierre-Pointue (2040^{m}), que du Grand-Plateau (3930^{m}) au sommet du mont Blanc (4810^{m}); or, cela ne s'est jamais vu. Bien plus, au niveau même de la mer, un travail suffisamment énergique et prolongé devrait amener le même résultat, et il n'en est rien. L'élément nécessaire, l'altitude, n'est nullement visé par cette explication.

Quant au fait allégué, en lui-même, il n'est rien moins que démontré. Rien ne prouve que l'acide carbonique, dont la formation est augmentée pendant le travail de l'ascension, puisse s'emmagasiner réellement dans le sang. D'après M. Gavarret lui-même, en s'élevant de 2000 mètres en verticale, un homme forme 65 litres

d'acide carbonique, en sus des 22 litres qu'il produit par heure pour ses besoins normaux. Or, ces 2000^{m}, il faudra, pour les franchir, au moins six heures. (MM. Lortet et Marcet ont mis 8 heures pour aller de Chamounix (1050^{m}) aux Grands-Mulets (3050^{m}). Il faut donc ajouter 65 litres aux 132 litres formés pendant ce temps ; en d'autres termes, la quantité d'acide carbonique produite aura été augmentée d'un tiers. Or, il est très-vraisemblable que l'excrétion pulmonaire aura été suffisante pour rejeter au dehors ce léger excès gazeux ; le sang artériel, le sang nourricier, celui dont l'altération est si grave, n'est donc probablement pas surchargé du gaz toxique. D'autre part on sait, d'après les expériences de M. Cl. Bernard, que l'on peut impunément injecter dans le système veineux d'un animal des quantités énormes d'acide carbonique, sans produire d'accidents, à cause de la rapidité et de l'énergie de l'exhalation pulmonaire. Ainsi, rien ne prouve qu'il y ait excès d'acide carbonique dans le sang artériel ; rien ne prouve que cet excès, s'il existe, soit capable, dans les proportions où il se trouve, d'amener des accidents; en tous cas, ces accidents devraient survenir à n'importe quelle altitude, et par conséquent n'ont rien à voir avec le mal des montagnes.

Théorie de de Saussure et de Martins. — De Saussure fit remarquer, comme nous l'avons rapporté (p. 225), que, au sommet du mont Blanc, « l'air n'ayant guère plus de la moitié de sa densité ordinaire, il fallait suppléer à la densité par la fréquence des inspirations..... C'est là, dit-il plus tard, la cause de la fatigue que l'on éprouve à ces grandes hauteurs. Car, en même temps que la respiration s'accélère, la circulation s'accélère aussi. » Cette vue supérieure était cependant incomplète, ou plutôt incomplétement exprimée. De Saussure laissait croire en effet que l'accélération respiratoire pouvait compenser la densité diminuée de l'air. Or, il savait certes qu'il n'en était rien, et qu'au sommet du mont Blanc, le nombre ou l'amplitude des respirations ne doublait pas la ventilation pulmonaire.

Cette explication fut acceptée par tous les auteurs qui suivirent de Saussure. Hallé et Nysten (p. 227) ; Courtois (p. 227) ; Gondret (p. 229) ; Clissold (p. 235) ; de Humboldt (p. 238) ; Brachet (p. 246); Lepileur (p. 247) ; A. Vogt (p. 249) ; Pravaz (p. 250) ; Marchal de Calvi (p. 252) ; Meyer-Ahrens (p. 254) ; Lombard (p. 255) ; Longet (p. 261) , etc., la reproduisent sous des formes diverses. Les uns se contentent, comme l'avait fait de Saussure, de parler d'une ma-

nière assez vague de la trop faible quantité d'air introduite dans les poumons sur les grandes hauteurs; d'autres, précisant davantage les faits, déclarent que, comme il arrive moins d'oxygène aux poumons dans un temps donné, il doit y en avoir moins d'absorbé par le sang, d'où les troubles; il en est, comme Longet, qui nient cette conséquence, affirmant que « l'individu qui habite la montagne... supplée à l'aide d'inspirations plus fréquentes, de manière que... la même quantité d'oxygène peut se trouver absorbée dans le même temps. » (P. 261.)

M. Martins releva cette erreur manifeste; il déclara qu'il devait y avoir une moindre oxygénation du sang provenant de cette circulation pulmonaire insuffisante, d'où « une cause physiologique de froid spéciale aux hautes régions, et probablement la principale de toutes celles qui amènent les symptômes connus sous le nom de *mal des montagnes.* » (P. 265.)

Mais nous avons fait connaître l'objection fondamentale que Payerne (p. 251) éleva contre la théorie de de Saussure. A ses yeux, il y a bien assez d'oxygène dans l'air, même au sommet des plus hautes montagnes atteintes, pour subvenir aux besoins de la respiration, pour faire face aux combustions augmentées par le travail de l'ascension.

Lombard seul (p. 263) paraît s'être ému des calculs de Payerne; il ne fait contre eux aucune objection, et avoue que, « même à des hauteurs de 7000^m, l'atmosphère pourra fournir à l'homme une quantité suffisante d'oxygène pour entretenir la respiration » (p. 263). Il n'en conclut pas moins, cependant, « qu'un sang incomplétement oxygéné parvient aux divers organes..... D'où résulte une portion notable des troubles qui surviennent dans l'innervation et la motilité » (p. 264).

Dans une autre partie de cet ouvrage, je discuterai à fond l'objection de Payerne, et je montrerai quelle part de vérité elle contient. Mais il me suffit ici de démontrer que personne n'y a répondu, et que, par conséquent, la théorie de de Saussure, avec les commentaires chimico-physiologiques dont elle a été enrichie, reste actuellement fortement battue en brèche par elle. Si, même à 7000^m, et sans tenir compte de l'accélération respiratoire, il passe dans les poumons bien plus d'oxygène que n'en exigent les consommations organiques, pourquoi le sang n'y prendrait-il pas ce dont il a besoin et qu'il y peut trouver?

Et d'abord en fait, et non plus en théorie, le sang est-il réelle-

ment « moins bien hématosé », comme disait Brachet ? Il est curieux d'avoir à constater que Hamel seul s'était proposé de faire une expérience pour « extraire, en haut du mont Blanc, le sang de quelque animal, et voir à sa couleur s'il avait été suffisamment décarbonisé dans les poumons » (p. 233). Cependant, il faut avouer que la teinte violacée des lèvres, des conjonctives, donnait quelque solidité aux affirmations de ceux qui soutenaient que l'hématose était incomplète : un des guides de Clark ayant saigné du nez, « son sang parut d'une couleur plus noire qu'à l'ordinaire. » (P. 98.)

Théorie de M. Jourdanet. — Quelques auteurs avaient entrevu, pour expliquer cette insuffisance de l'hématose, une autre cause que celle dont nous venons de parler. Ce n'était pas seulement la trop faible quantité d'oxygène circulant dans les poumons en un temps donné, qu'ils accusaient ; mais, pour emprunter les paroles même de Pravaz, « le défaut de pression qui rend la dissolution de ce gaz dans le sang moins abondante. » (p. 250.) Cette idée ne fut nettement formulée que par Pravaz, dans le passage que je viens de citer : personne ne la releva depuis. M. Gavarret la combattit énergiquement ; le savant professeur de la Faculté de médecine de Paris déclara « que l'absorption de l'oxygène par le sang veineux n'est pas un fait purement physique, mais que les forces chimiques jouent un rôle important dans cette fixation » (p. 262). D'ailleurs, s'il en était ainsi, qu'adviendrait-il des habitants de la métairie d'Antisana, où le baromètre marque 47 centimètres, qui n'absorberaient plus « qu'un poids d'oxygène inférieur aux deux tiers de celui qu'on consomme au bord de la mer » ? Et Longet disait un peu plus tard : « Si la loi des dissolutions s'appliquait, on arriverait à cette conséquence, que le sang des habitants des régions où la pression atmosphérique n'est guère que de $0^m,380$, renfermerait moitié moins d'oxygène que le sang des habitants des bords de la mer... Mais, sans doute, la précédente loi ne trouve pas ici son application. » (p. 261.)

Mais la question était précisément de savoir ce qui arrivait à ces habitants de hauts lieux, et le raisonnement des savants professeurs était un vrai cercle vicieux. Heureusement pour eux, les expériences remarquables de M. Fernet (p. 260), exécutées sur ces entrefaites, semblèrent leur donner entièrement raison, en paraissant montrer que les volumes d'oxygène absorbés par le sang sont à peu près indépendants de la pression barométrique.

Chacun s'inclina alors devant ces conclusions étayées par des ex-

périences qui ne laissent prise à aucune objection d'ordre purement physico-chimique.

M. Jourdanet seul (p. 266) ne se déclara point convaincu. Il fit remarquer avec sagacité que, quelle que soit l'affinité des globules pour l'oxygène dans l'acte respiratoire, on ne pouvait mettre en doute que, dans un air pauvre en oxygène, la solubilité de ce gaz dans le sang ne soit moindre. Il ne peut en être autrement dans l'air raréfié, et le sang ne s'y doit charger que d'une quantité plus faible, et qui peut être insuffisante, d'oxygène. Joignez à cela la diminution due à la cause dont avait parlé de Saussure, et à laquelle M. Jourdanet attribue une sérieuse importance, et vous arriverez, pensait-il, à cette certitude que, sur les montagnes, le sang est moins riche en oxygène qu'au niveau de la mer; et cette pauvreté en oxygène produit, bien que le nombre des globules sanguins reste le même, les mêmes effets funestes qu'une diminution dans le nombre de ces globules. L'*anoxyhémie* est le pendant pathologique de l'anémie; d'où cette parole remarquable : « Une ascension au-delà de 3000^{m} équivaut à une désoxygénation barométrique du sang, comme une saignée est une désoxygénation globulaire. » (P. 273.) Quand les phénomènes sont poussés à l'extrême, comme il arrive sur les hautes montagnes, les accidents violents que nous avons décrits sont la conséquence de l'irrigation des organes par un sang trop peu oxygéné, incapable de les exciter et de les nourrir. A de moindres hauteurs, comme sur le plateau mexicain, la différence dans la richesse oxygénée n'est pas assez forte pour amener des troubles capables de frapper l'observateur, dans les conditions ordinaires de la vie. Mais si quelque maladie survient, elle prendra aussitôt un caractère si particulier qu'un médecin expérimenté n'hésitera pas à reconnaître dans son malade un véritable anémique. Telle est la thèse générale qu'avec une grande ardeur, a, depuis 1861, soutenue M. Jourdanet; il l'a étayée dans les ouvrages successifs que nous avons plus haut analysés, d'une étonnante quantité d'observations personnelles et de citations en harmonie avec elles.

Certes on avait, comme nous l'avons vu, parlé plus ou moins clairement avant lui, d'absorption insuffisante d'oxygène, et même de sang incomplètement hématosé; mais personne n'avait rapproché l'une de l'autre les deux causes qui peuvent produire la pauvreté du sang en oxygène, mesuré leur importance, montré leur généralité; personne ne semblait avoir supposé même qu'elles pussent agir aux

altitudes médiocres, là où aucun accident violent n'appelle l'attention du voyageur ou du médecin ; personne n'en avait poursuivi les conséquences et montré l'influence redoutable dans les conditions pathologiques ; personne enfin n'avait tenté de rechercher quel rôle elles jouent dans l'hygiène des populations qui habitent les hauts lieux, quelle influence elles peuvent exercer sur leur caractère, leurs coutumes, leur destinée.

S'il est vrai de dire que la découverte appartient non à celui qui a rencontré, comme par hasard, la vérité, et qui l'a négligemment énoncée, mais à celui qui, l'apercevant à son tour, en a senti toute l'importance, a accumulé les preuves à l'appui, l'a défendue contre les attaques passionnées, alors même qu'elles venaient d'autorités considérables ; qui, en un mot, d'une idée isolée a fait une théorie, c'est à M. Jourdanet et non à de Saussure, à Martins, à Brachet ou à Pravaz que nous attribuerons le mérite d'avoir trouvé la véritable explication des malaises de la décompression, comme il a celui de les avoir si nettement définis et décrits à la fois par le nom d'anoxyhémie.

Cependant, il faut ici encore faire remarquer que la base même de la théorie n'était assise que sur des raisonnements et des déductions fort bien enchaînés, à coup sûr, mais qui ne suffisent pas à établir la démonstration complète pour les esprits habitués à la rigueur des méthodes scientifiques. Il était nécessaire de faire la preuve expérimentale de l'anoxyhémie, et de son influence sur la production des troubles qui surviennent dans l'air raréfié. C'est ce que je disais déjà en 1869 : « Je ne saurais trop le répéter, ce sont là raisonnements, vraisemblances, probabilités tout au plus. A quand l'expérience qui entraînera la conviction? Qui viendra faire, pour l'étude de la respiration, sous diminution ou augmentation de pression, ce qu'a fait le roi de Bavière, fournissant à Pettenkofer tous les appareils nécessaires pour l'étude des produits de la respiration normale[1]? »

Cet appel a été entendu. C'est M. Jourdanet lui-même qui m'a permis de soumettre à la critique expérimentale et sa propre théorie et toutes celles qui méritaient d'être ainsi examinées. Le récit des expériences que j'ai faites à l'aide des appareils que j'ai pu, grâce à lui, faire construire, va constituer la deuxième partie de cet ouvrage.

[1] *Leçons*, etc. p. 129.

Il me reste, en terminant cette analyse des opinions émises pour expliquer le mal des montagnes, à rappeler en résumé au lecteur que beaucoup d'entre elles n'ont pu supporter l'examen critique auquel nous les avons soumises; que d'autres, dont l'exactitude est peu vraisemblable, attendent, pour être jugées définitivement, le contrôle expérimental; que d'autres, enfin, et celle-là même qui nous semble la plus solidement établie, celle de l'anoxyhémie, ne pourra entraîner la conviction qu'après l'intervention du juge souverain : l'expérience.

TITRE II

AUGMENTATION DE PRESSION

La nature n'offre point de conditions où l'homme et les êtres vivants aériens soient soumis à l'influence d'une pression plus forte que celle qu'exerce l'atmosphère au niveau des mers[1]. Seuls les animaux et les végétaux aquatiques supportent des pressions qui peuvent, dans les profondeurs de l'Océan, se chiffrer en centaines d'atmosphères.

La recherche des minerais, celle surtout de la houille, ont bien forcé de nombreux ouvriers à vivre à des profondeurs où la pression normale de 760^{mm} se voit augmentée de quelques centimètres de mercure. Mais l'influence de cette modification légère n'a jamais attiré l'attention des observateurs, perdue qu'elle est, en admettant qu'elle soit de quelque importance, dans la foule des conditions particulières et défavorables où vivent les mineurs (humidité, obscurité, confinement, gaz délétères, poussières, etc.).

Mais depuis le XVIe siècle, les progrès de l'industrie ont amené des hommes à travailler sous des pressions qui ont dépassé quatre atmosphères. Les cloches à plongeurs, les scaphandres, les tubes à air comprimé inventés par M. Triger, ont placé dans ce milieu modifié des milliers d'ouvriers. Des accidents graves sont alors survenus, dont le nombre a effrayé les ingénieurs et les médecins.

[1] Il faudrait à la rigueur faire exception pour les contrées peu étendues, peu peuplées, où le sol est au-dessous du niveau de la mer ; la plus importante, à coup sûr, est la vallée de la mer Morte.

Cependant ces derniers, frappés des modifications singulières et souvent heureuses que le séjour dans l'air comprimé apporte dans certains états morbides, ont eu l'idée de régulariser l'emploi de cet agent thérapeutique nouveau. Des appareils ont été installés, qui ont servi à d'intéressantes observations physiologiques et à d'utiles applications médicales.

J'énumère, dans les chapitres qui suivent, les faits observés dans les circonstances que je viens de rappeler. Entre celles-ci, on aperçoit, en les considérant d'ensemble, une différence notable. Les plongeurs, les ouvriers des tubes, sont soumis à des pressions qui sont parfois énormes ; l'attention n'a été attirée sur les accidents qu'ils présentent que lorsque ces pressions étaient fort élevées ; enfin, ces accidents sont, comme nous le verrons, le résultat, non de la compression elle-même, mais de la décompression brusque. Dans les appareils médicaux, au contraire, la pression employée a toujours été faible, inférieure au double de l'état normal ; les observations physiologiques ont porté sur les phénomènes produits par l'air comprimé lui-même, et aucun accident n'a pu être mis à la charge de la décompression, toujours très-prudemment graduée.

J'ai donc dû diviser en deux chapitres l'exposé de faits aussi différents. Un troisième est consacré à l'indication des tentatives faites par les divers auteurs pour expliquer les modifications physiologiques et les accidents plus ou moins redoutables qui frappent les ouvriers. Enfin, dans un dernier chapitre, se trouvent résumés et critiqués les faits observés et les théories émises en vue de les expliquer.

CHAPITRE PREMIER

FORTES PRESSIONS.

---

§ 1er. — Cloches à plongeurs.

C'est au commencement du XVIe siècle que Sturmius inventa la cloche à plongeurs, qui devait rendre de si grands services. C'était tout simplement une cloche lourdement lestée, qu'on laissait, pleine d'air, descendre verticalement dans l'eau jusqu'à toucher le fond. L'eau pénétrait dans l'appareil à une hauteur qui augmentait avec la profondeur de l'immersion : à dix mètres, il y avait sous la cloche, en volume, moitié d'air et moitié d'eau; à vingt mètres, deux tiers d'eau et un tiers d'air, etc.; les ouvriers, réfugiés jusque-là sur des gradins, en descendaient pour travailler, dans les plus mauvaises conditions.

L'inventeur se préoccupa de l'influence fâcheuse que pouvait exercer sur eux l'air comprimé par la descente; pour y obvier, dit Panthot[1], il conseilla d'emporter de l'air dans des bouteilles que l'on casserait ensuite sous la cloche.

Ce procédé, qui ne pouvait en aucune façon modifier la tension de l'air, fut perfectionné par Halley, dans un but plus en rapport avec les lois de la physique. Le médecin anglais se proposa de mettre à sec l'ouvrier envahi par l'eau et de renouveler l'air altéré par sa respiration; il y parvenait en descendant sous la cloche des

[1] Je cite cette opinion de Panthot, d'après Brizé-Fradin, p. 31.

barillets pleins d'air, que le plongeur recevait et ouvrait à son gré; l'air chaud et impur s'échappait par le haut de la cloche, à l'aide d'une soupape. Halley trouva même le moyen de permettre à un plongeur de s'éloigner de la cloche, en continuant de communiquer avec l'air comprimé qui y est contenu par un tuyau et un capuchon recouvrant la tête. (Brizé-Fradin, 2e S., pl. I.) C'était la première idée du scaphandre.

Spalding apporta à l'appareil de Halley des améliorations d'ordre purement mécanique; ces perfectionnements ne l'empêchèrent pas de trouver la mort dans son appareil même en 1785.

Brizé-Fradin, au travail duquel[1] j'ai emprunté la plupart des renseignements qui précèdent, résume dans les termes suivants les inconvénients de la cloche à plongeurs :

1° Douleur vive et insupportable dans l'oreille, due à la compression de la cloison du tympan;

2° Altération de l'air par la respiration des ouvriers, d'où asphyxie;

3° La plupart des physiciens ont trouvé un troisième inconvénient; ils croient que le ressort de l'air, agissant dans tous les sens et à toutes les profondeurs, comprime les vaisseaux sanguins, les artères et occasionne des hémorrhagies.

On peut opposer à cette assertion des faits constants et des expériences directes; écoutons M. Halley :

« J'ai été moi-même l'une des cinq personnes qui ont plongé jusqu'à la profondeur de 18m, sans en être incommodé; nous sommes restés pendant une heure et demie; j'aurais pu même y rester plus longtemps, car rien ne s'y opposait. »

Ce témoignage de M. Halley pourrait être appuyé de celui de tous les plongeurs. La pression de l'air sous l'eau, à une profondeur de 18m, n'occasionne pas de crachement de sang; si on plongeait plus avant, sans doute, on trouverait le terme où l'air condensé serait irrespirable. (P. 171.)

Et cependant, ajoute Brizé-Fradin :

En observant ces rapports d'identité avec la pression de l'eau et la puissance élastique de l'air, il semble que le plongeur placé sous la cloche à une profondeur de 18m doit être dans un état d'affaissement universel. (P. 173.)

Le conseiller de Cour de l'empereur de Russie, dont nous avons rapporté plus haut la funeste ascension au mont Blanc, le docteur Hamel[2], descendit dans une cloche à plongeur installée par Rennie dans le port de Howth, près de Dublin; la profondeur de

[1] *La chimie pneumatique appliquée aux travaux sous l'eau.* — Paris, 1808.

[2] *Lettre au professeur Pictet sur la cloche du plongeur.* — *Bibl. univ. de Genève*, t. XIII. p. 230-234. 1820.

l'eau était d'environ 30 pieds. Il n'éprouva pas d'autre incommodité que de violentes douleurs d'oreilles, « comme si on y introduisait avec force une baguette, » qu'il faisait cesser en avalant sa salive. De là vint à Hamel l'idée « que la cloche des plongeurs pourrait servir de remède dans les cas de surdité provenant de l'obstruction de la trompe d'Eustache ».

Pour le reste il dit simplement :

Je m'attendais à éprouver quelque effet pénible pour la respiration, résultant de la pression de l'air augmentée du poids d'une atmosphère presque entière; cependant je n'ai pas ressenti la moindre incommodité sous ce rapport.

La même année, dans la même cloche et à la même profondeur, descendit le docteur Colladon[1]. Il est un peu plus explicite :

Nous descendions si silencieusement que nous ne nous apercevions point du mouvement de la cloche; mais aussitôt qu'elle fut plongée dans l'eau, nous ressentîmes dans les oreilles et sur le front un sentiment de pression qui alla en augmentant pendant quelques minutes. Je n'éprouvais cependant pas de douleurs dans les oreilles; mais mon compagnon souffrait tellement, que nous fûmes obligés de suspendre la descente pendant quelques minutes. Pour remédier à cet inconvénient, les ouvriers nous conseillèrent d'avaler notre salive après avoir fermé fortement les narines et la bouche et de retenir pendant quelques instants notre respiration, afin que, par cet exercice, l'air intérieur pût agir sur la trompe d'Eustache. Mon compagnon se trouva peu soulagé par le procédé. Lorsque nous nous remîmes en mouvement, il souffrait beaucoup, il était pâle, ses lèvres étaient décolorées, on l'eût cru prêt à se trouver mal. Son abattement était dû, sans doute, à la violence de la douleur, jointe à un sentiment de crainte qu'il n'était pas le maître de surmonter. Cette expérience produisit sur moi un effet contraire : j'étais dans un état d'excitement, comme si j'eusse bu quelque liqueur spiritueuse, je ne souffrais point, je n'éprouvais qu'une forte pression autour de la tête, comme si un cercle de fer y eût été attaché fortement. En parlant avec les ouvriers, j'avais quelque peine à les entendre; cette difficulté de l'ouïe devint si forte, que pendant trois ou quatre minutes je ne les entendis plus parler; je ne m'entendais pas moi-même, quoique je parlasse aussi haut qu'il m'était possible, et bientôt le bruit causé par la violence du courant contre les parois de la cloche ne parvint plus à mon oreille. (P. 6.) . . . .

Enfin nous arrivâmes au fond de la mer, où toute sensation désagréable cessa presque entièrement. . . . .

Nous respirâmes avec beaucoup de facilité pendant tout le temps de notre visite sous l'eau... Notre pouls n'éprouva aucune altération. . . . .

En remontant, nos sensations furent très-différentes de celles que nous avions éprouvées en descendant : il nous semblait que nos têtes devenaient beaucoup plus grosses; que tous les os étaient sur le point de s'en séparer. Cet inconvénient ne fut pas de longue durée. (P. 8.)

A ces observations presque négatives, Colladon ajoute deux faits

[1] *Relation d'une descente en mer dans la cloche du plongeur.* — Paris, 1826.

des plus intéressants, et qui ont été le point de départ d'importantes applications thérapeutiques :

Aucun des ouvriers ne devient sourd, il semblerait plutôt que, dans certains cas, l'action de la cloche sur les oreilles pourrait servir de remède à la surdité. Un des ouvriers, respirant habituellement avec une grande difficulté, se trouva complétement guéri peu de temps après avoir entrepris le travail de la cloche. (P. 14.)

La cloche à plongeurs est aujourd'hui complétement abandonnée. Elle a été remplacée par les caissons remplis d'air comprimé par la méthode Triger.

Des tentatives, qui ne manquent point d'intérêt, ont été faites à plusieurs reprises pour inventer des bateaux sous-marins dans lesquels des hommes vivraient soit dans l'air comprimé soit dans l'air à la pression normale. Ces essais ont commencé au dix-septième siècle ; le P. Mersenne, l'ami de Descartes, n'a pas dédaigné de s'en occuper; plus récemment, R. Fulton a fait dans le port de Brest des tentatives qu'on aurait peut-être dû encourager ; puis vint Payerne, dont l'*hydrostat sous-marin* fonctionna avec quelques succès. De nos jours enfin, M. Villeroi, puis le contre-amiral Bourgeois, ont inventé des *bateaux-cigares* qui pourraient être utilisés en cas de guerre. Mais, comme aucune observation d'ordre physiologique n'a été faite à l'aide de ces engins, et que je n'ai nullement le désir d'écrire une histoire, si abrégée que ce soit, des applications industrielles de l'air comprimé, j'arrive sans autre transition aux faits nombreux relatifs au creusement des puits de mine et au fonçage des piles de pont par la méthode Triger.

§ 2. — Appareils construits d'après la méthode Triger.

C'est en effet à M. Triger, ingénieur français, qu'est due la précieuse invention de l'emploi de l'air comprimé à de hautes pressions pour le forage des puits ou le fonçage de piles de pont. Il s'agissait d'aller exploiter dans la concession de la Haye-Longue (Maine-et-Loire) des couches de terrain houiller recouvertes d'alluvions que traversaient les eaux de la Loire. On ne pouvait penser à épuiser l'eau qui envahissait et empêchait de pousser en avant les galeries : M. Triger conçut l'idée simple et lumineuse de la repousser, de la contenir, en insufflant de l'air comprimé par la partie supérieure du puits; à l'abri de l'asséchement ainsi produit, des ou-

vriers purent aller oblitérer les voies d'eau par des voûtes de maçonnerie.

M. Trouessart, dont nous citons plus loin le rapport sur cette admirable découverte, fait remarquer que l'idée en était déjà venue à Denis Papin, en 1691, et il cite le passage suivant, qui est en effet des plus remarquables :

On pourrait injecter continuellement de l'air frais dans la cloche à plonger, à l'aide d'un fort soufflet de cuir garni de soupapes, par un tuyau passant sous la cloche, et débouchant à sa partie supérieure. Ainsi, la cloche demeurant toujours vide et la faisant appuyer tout à fait à terre, le fond de l'eau en cet endroit demeurerait presque sec et on pourrait y travailler de même que hors de l'eau, et je ne doute point que cela pût épargner beaucoup de dépense quand on veut bâtir sous l'eau. Au reste, au cas que les soufflets de cuir ne fussent pas assez forts pour presser l'air autant qu'il serait nécessaire dans de grandes profondeurs, on pourrait toujours remédier à cette difficulté, en se servant de pompes pour presser l'air.

Mais il y a loin de cette idée à l'invention complète de M. Triger, qui, en 1839, résolut pratiquement le problème, et annonça de suite les applications nombreuses qu'on en devait faire après lui.

L'énoncé complet de cette invention se trouve dans un Mémoire[1] présenté en 1841 à l'Académie des sciences.

Nous laissons naturellement de côté tout le détail de la construction des appareils, pour arriver à l'indication des phénomènes physiologiques, fort peu étudiés, comme on va le voir, par le célèbre ingénieur.

Un fait intéressant se rencontre tout d'abord : M. Triger voulut essayer sur lui-même l'action de l'air comprimé. Or :

Au moment où le manomètre s'élevait à peine à la hauteur de 40 pouces (pression totale) une détonation se fit entendre, et nous nous trouvâmes saisis d'un froid glacial et plongés dans l'obscurité la plus complète, par suite de la production instantanée d'un épais brouillard : une vitre de l'appareil avait crevé.

Cette explosion n'eut d'autre résultat que de nous occasionner une grande surprise.

M. Triger signale ensuite, en les rapportant bien exactement à leur cause, les douleurs d'oreilles qui accompagnent la compression et la décompression. Puis il ajoute, et c'est tout ce que contient son Mémoire sur le sujet qui nous intéresse :

A la pression de trois atmosphères, il n'est plus possible à personne de siffler

[1] Triger, *Mémoire sur un appareil à air comprimé, pour le percement des puits de mine et autres travaux, sous les eaux et dans les sables submergés.* — *Compt. rendus Acad. des sciences*, t. XIII, p. 884-896, 1841.

dans l'air comprimé : faculté qui, du reste, ne se perd que lorsque l'on arrive à cette pression.

Dans l'air comprimé, tout le monde parle du nez, ce qui devient d'autant plus sensible que la pression est plus grande.

Les ouvriers ont remarqué qu'en montant dans les échelles, ils se trouvaient moins essoufflés dans l'air comprimé qu'à l'air libre.

Enfin, je terminerai par une observation assez curieuse, que j'ai été à même de bien constater : c'est qu'un ouvrier mineur, le nommé Floc, sourd depuis le siége d'Anvers, a constamment entendu plus distinctement dans l'air comprimé que tous ses autres camarades. (P. 892.)

M. le professeur Trouessart[1], chargé par la Société industrielle d'Angers d'examiner les résultats pratiques de l'appareil de M. Triger, rendit compte de ses recherches dans un intéressant Mémoire.

Il y est peu question de physiologie ; on y trouve cependant quelques observations qui méritent d'être rapportées ici, par cette raison surtout qu'elles ont été les premières faites sur l'homme à des pressions de 3 atmosphères en sus de l'atmosphère normale :

Ce n'est pas sans une certaine appréhension, nous l'avouons, que l'on descend la première fois dans l'appareil pour y être soumis à une pression de trois atmosphères. Ces 32 000 kilogrammes en sus de la pression antérieure, qu'il va vous falloir supporter, ont bien de quoi effrayer les épaules les plus robustes.

Vient d'abord la description des douleurs d'oreilles, qui sont parfaitement étudiées et expliquées :

Un phénomène plus difficile à comprendre, c'est que les personnes sourdes entendent non-seulement dans l'air comprimé mieux qu'à l'air libre, mais qu'elles entendent mieux que les personnes dont l'organe est sain. . . . . .

Un des résultats les plus singuliers, c'est qu'on perde subitement la faculté de siffler sous la pression de 2 atmosphères 3/4 à 3 atmosphères.

Les fonctions de nutrition, de respiration et de circulation ne paraissent pas sensiblement modifiées dans l'air comprimé. Nous avions cru trouver, lors de notre première visite, une accélération dans les battements du pouls de toutes les personnes soumises à l'expérience ; mais, à notre seconde visite, le résultat d'une observation plus exacte, faite par un membre très-exercé à toucher le pouls, fut complétement négatif. . . . .

La respiration n'est ni plus lente ni plus rapide. Il ne paraît pas non plus qu'elle soit plus active et que la chaleur animale soit augmentée. Le sang jaillit aussi dans les conditions normales. En un mot, et c'est ce qui surprend le plus, il y a très peu de modifications dans les fonctions vitales. Les ouvriers assurent monter plus facilement à l'échelle et être moins essoufflés en arrivant en haut. Cela ne peut tenir à la perte assez faible qu'ils font de leur poids. Peut-être peuvent-ils retenir plus longtemps leur respiration, à cause de la densité plus

[1] *Rapport sur les puits à air comprimé de M. Triger. — Bull. de la Soc. indust. d'Angers et du départ. de Maine-et-Loire,* — 1845.

grande du gaz amené par chaque respiration ? D'un autre côté, ils prétendent fatiguer beaucoup plus en travaillant dans l'air comprimé que dans l'air libre, Nous croyons que cela tient à l'humidité très-grande de l'atmosphère des puits, humidité qui gêne la transpiration insensible et provoque plus rapidement la sécretion de la sueur chez ceux qui, dans un semblable milieu, ont à développer leur puissance musculaire. C'est cette humidité qui expliquerait aussi peut-être les douleurs assez vives dans les articulations qu'ont éprouvées quelques ouvriers, peu d'heures après la sortie du puits. . . . .

Nous pouvons conclure qu'il n'y a aucun danger sérieux à séjourner plusieurs heures de suite, et pendant plusieurs jours, dans un air comprimé à 3 atmosphères.

Notre auteur ne dit rien de la durée de la décompression ; il paraît du reste, se préoccuper davantage du « passage d'une faible à une forte pression » : il dit seulement qu'on ouvrait peu à peu le robinet.

Dans une seconde communication à l'Académie des sciences, M. Triger[1] reproduit ses anciennes observations. Il y ajoute les faits suivants :

Tout le monde parle du nez et perd la faculté de siffler à 3 atmosphères. Afin de m'assurer de l'effet de l'air comprimé sur un instrument à cordes, j'ai fait descendre un violon dans le puits et l'on a trouvé qu'à la pression ci-dessus le son perdait au moins la moitié de son intensité.

Puis vient la première indication des accidents assez graves de la décompression :

Je dois déclarer ici que deux ouvriers, après avoir passé 7 heures de suite dans l'air comprimé, ont éprouvé des douleurs assez vives dans les articulations, une demi-heure après être sortis du puits. Le premier se plaignait d'une douleur extrêmement vive dans le bras gauche, et le second éprouvait une douleur semblable dans les genoux et dans l'épaule gauche; quelques frictions faites avec de l'esprit-de-vin ont bientôt fait disparaître cette douleur chez les deux individus ; ils n'en ont pas moins continué leur travail les jours suivants.

En 1846, M. de la Gournerie[2], s'inspirant, dit-il, d'un appareil proposé en 1778 et approuvé par l'Académie des sciences en 1779, employa à l'extraction de rochers dans le chenal du port du Croisic un bateau portant une chambre en métal ouverte par en bas, et de laquelle on chassait l'eau par de l'air comprimé.

Il ne l'immergea que de 3 ou 4 mètres ; il ne faut donc pas s'étonner de voir que

[1] *Lettre à M. Arago. — Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XX, p. 445-449; 1845.

[2] *Mémoire sur l'extraction des roches de la passe d'entrée du port du Croisic. — Ann. des ponts et chaussées*, 1848, 1er semestre, p. 261-315.

Les ouvriers n'ont jamais trouvé que la pression de l'air les incommodât. C'est à peine si elle fait éprouver pendant quelques secondes une gêne légère aux oreilles.

Le nombre des pulsations du pouls n'est pas sensiblement augmenté. (P. 308.)

C'est dans les mines de Douchy (Nord), que fut imitée d'abord la méthode employée par M. Triger sur les bords de la Loire. Les difficultés étaient plus grandes, puisqu'il s'agissait non plus de traverser des sables perméables avec un tube en tôle de 1m50 de diamètre, mais de creuser à travers des calcaires un puits de 3 mètres de diamètre.

Nous citerons dans un moment le Mémoire important que les docteurs Pol et Watelle ont consacré à l'étude des accidents qui ont, dans cette exploitation, frappé de nombreux ouvriers. La première connaissance en fut apportée par un rapport de l'ingénieur Blavier[1], envoyé pour examiner cette invention nouvelle.

Il indique d'abord les douleurs d'oreilles, l'impossibilité de siffler. Pour parler il faut faire un certain effort :

Il nous a semblé aussi que dans l'échelle diatonique la voix perdait un ton ou un ton et demi dans les notes aigües sans les regagner par le bas.

Il n'a trouvé aucune différence dans le nombre des pulsations avant d'entrer et dans l'appareil :

Si les effets de l'air comprimé ne se manifestent pas sur l'économie animale tout le temps qu'on y est plongé, du moins dans la durée d'une pose d'ouvriers, il n'en est pas tout-à-fait de même si l'on cherche à envisager ces effets, abstraction faite du moment.... La plupart des ouvriers, quoique choisis parmi les plus robustes et les plus sains, ont ressenti fréquemment, quelques heures après en être sortis, soit des pesanteurs de tête, soit des douleurs dans les jambes. Un d'eux seulement a éprouvé une perclusion absolue des bras et des jambes pendant 12 heures. Le directeur de la mine nous a affirmé que les effets ressentis coïncidaient presque toujours avec quelques excès commis dans l'intervalle des poses. (P. 361.)

Cependant lui-même, après avoir été soumis à la pression totale de 2,6 à 3 atmosphères, fut frappé d'un accident assez sérieux :

Le lendemain de notre visite du 5 décembre, des douleurs vives sont survenues dans le côté gauche, et nous avons ressenti une gêne douloureuse assez grande pendant plusieurs jours de suite. Comme un refroidissement ou quelque autre cause étrangère à l'air comprimé pouvait avoir agi, lorsque nous avons été

[1] *Rapport sur le procédé suivi, à Douchy, pour traverser des nappes d'eau considérables.* — *Ann. des mines*, 4e série, t. IX, p. 349-364; 1846.

complétement délivré de ces douleurs, le 28 décembre, nous avons tenu à recommencer l'expérience, et nous avons pris à la sortie du puits les plus grandes précautions pour nous mettre à l'abri de tout refroidissement. Malgré ces précautions, le lendemain, très-sensiblement à la même heure, à savoir 20 heures après notre sortie du milieu d'air comprimé, nous avons ressenti dans le côté droit des douleurs tout à fait semblables aux premières, et qui nous ont tenu engourdi pendant quatre à cinq jours. (P. 362.)

Nous arrivons maintenant à l'important Mémoire, le premier qui fut sur ces accidents écrit par des médecins, dans lequel MM. Pol et Watelle[1] exposent les effets de la compression de l'air sur les mineurs pendant le creusement de l'Avaleresse-la-Naville, à Lourches, dans la concession de Douchy (Nord).

Les auteurs ont pris soin d'avertir que leurs notes ayant été prises sans intention de publicité, ils ont observé sans plan, sans programme, et par conséquent sans ordre. Mais ils pensent, et avec grande raison, que leur travail présentera cependant quelque intérêt et quelque utilité.

Pendant l'exploitation, la pression totale s'est élevée à 4 atmosphères 1/4. La compression se faisait en un quart d'heure, la décompression en une demi-heure ; 64 ouvriers ont pris part aux travaux ; ils restaient ordinairement quatre heures de suite dans l'appareil, et cela deux fois par jour.

Les auteurs ont décrit à part les effets physiologiques qu'ils ont observés sur eux-mêmes et les effets pathologiques éprouvés par les ouvriers :

1° *Effets physiologiques :* Douleurs des membranes tympaniques ; ralentissement de la respiration et surtout diminution d'amplitude de l'expansion thoracique, devenue à peine perceptible ; ralentissement du pouls, (tombé de 70 à 55 ;) augmentation de la sécrétion urinaire.

Les auteurs accusent encore un « sentiment musculaire d'une résistance à vaincre, la densité insolite de l'atmosphère ambiante embarrassant la progression » ; l'impossibilité de siffler, éprouvée au-dessus de 3 atmosphères, est également attribuée à une résistance inattendue, éprouvée par les muscles de la langue en présence d'un air condensé.

Au retour et pendant la décompression, ils éprouvèrent une vive

[1] *Mémoire sur les effets de la compression de l'air appliquée au creusement des puits à houille. — Ann. d'hygiène publique et de médecine légale.* 2e série, t. I, p. 241-279; 1854. — Mémoire écrit à la fin de l'année 1847, et présenté, peu de temps après, à la Société de Douchy.

sensation de froid, une certaine anhélation ; le pouls remonta à 85.

Effets pathologiques. — En prenant en bloc les observations, on voit que, sur 64 hommes, 47 ont supporté plus ou moins bien les travaux ; 25 ont dû être réformés ; 2 sont morts. En les relevant par le détail, on voit que 14 ont éprouvé des accidents légers, 16 des accidents plus ou moins graves, pouvant aller jusqu'à menacer la vie ; 2 sont morts.

En revanche, 2 ont bénéficié d'une certaine amélioration. L'un (1re catégorie, obs. I), était asthmatique, et respirait mieux dans le puits ; l'autre (3me catég., obs. 3), chloro-anémique, ayant eu des hémoptysies fréquentes, vit son oppression disparaître, ses muqueuses devenir plus rouges :

Nous voyons poindre, disent à ce propos MM. Pol et Watelle, sans nous dissimuler les difficultés d'application, une nouvelle ressource de thérapeutique palliative contre la plupart des dyspnées.

Les accidents, règle universelle et sans exceptions, avaient lieu au moment de la décompression :

Le danger n'est pas de pénétrer dans un puits comprimé ; il n'est pas davantage d'y séjourner plus ou moins longtemps ; la décompression seule est à craindre : *on ne paie qu'en sortant.*

Examinons maintenant en quoi consistent ces accidents plus ou moins graves.

Ce sont d'abord les douleurs du tympan, plus ou moins vives et durables, et M. Pol constate qu'on les fait cesser beaucoup plus vite en se mouchant qu'en faisant des efforts de déglutition.

Pour les autres symptômes, comme MM. Pol et Watelle ont eu le bon esprit de donner les observations complètes, je crois ne pouvoir mieux faire que de les résumer chacune en quelques mots, suivant l'ordre dans lequel ils les ont présentées :

Première catégorie. — *Ouvriers ayant pris les travaux à l'origine.*

Observations. — I. Asthmatique, respire mieux dans le puits. A la décompression, violentes oppressions avec réaction circulatoire exagérée. Réformé.

II. A été jusqu'à quatre atmosphères et demie. Embarras de la respiration, diminution d'appétit, digestions pénibles, douleurs dans les membres. Selles noires. A beaucoup maigri.

III. Mêmes effets.

IV. Idem.

V. A fait bonne contenance jusqu'à trois atmosphères. Au-delà, éblouissements,

douleurs musculaires, crampes ou engourdissement universel, vomissements de matières noirâtres. Le tout au retour à l'air libre.

Un jour, une heure après sa sortie du puits, ayant pris son repas, il se plaint de malaise; porté sur son lit, *il y perd connaissance.* Pouls plein et fréquent, face injectée, respiration courte et stertoreuse; son obscur partout, souffle bronchique, râle muqueux; résolution musculaire. Saigné, purgé, sinapisé. Après quatre heures, retour à la connaissance. En trois jours, guérison. Réformé.

VI. Arrivé sans encombre jusqu'à quatre atmosphères un quart. Un soir, après s'être couché bien portant en apparence, pris, à onze heures, de douleurs musculaires accompagnées de contractions qui simulaient des accès tétaniques.

Peau glacée, pouls petit et lent, urines abondantes et limpides. Respiration anxieuse; mêmes résultats d'auscultation qu'à V.

Bains à 32° exaspèrent tellement les douleurs, que le malade n'y peut rester. Frictions, sudation forte, calme. Rétabli le lendemain, reprend son travail.

VII. A la pression de 3,3 : troubles cérébraux, analogues à l'ivresse comateuse, hébétude, bredouillement. Respiration accélérée, pouls rapide. Pupilles dilatées.

Deux attaques semblables, guéries l'une en neuf jours, l'autre en quinze. Conserve de la diplopie et des tournoiements, avec surdité d'un côté. Réformé.

VIII. Présentait à l'excès deux phénomènes habituels : 1° suppression des fonctions de la peau et augmentation de la sécrétion urinaire pendant la compression : 2° rapidité augmentée des battements de cœur après la décompression ; son pouls, de 58 montait à 130.

IX à XVII. Rien d'important à noter.

XVIII. Sain et vigoureux. A éprouvé à plusieurs reprises de vives douleurs dans les membres et la poitrine. Troubles respiratoires croissant avec la pression, ainsi que les douleurs musculaires qui sont très-aiguës.

Est réformé. Dans les dernières journées, descend sans permission dans le puits. Y travaille sans se plaindre; sort avec ses compagnons, se lave comme eux, tombe aussitôt privé de sentiment et *meurt* en un quart d'heure. L'autopsie signale seulement engouement des poumons, engorgement du foie, de la rate, des reins; rien au cerveau, sinon sablé congestionnel.

XIX. Oppression violente avec matité et bronchophonie ; pouls rapide, peau froide, toux continuelle; contractions cloniques des membres; mieux sensible après cinq heures de soins.

Puis, une autre fois, à ces accidents se joignent : dilatation de la pupille, résolution des membres, *subdilerium, coma.* Trois saignées coup sur coup ; sang rutilant au sortir de la veine; guéri. Réformé.

XX. Mêmes accidents que VII. Resté également sourd d'un côté, avec vue très-affaiblie. Réformé.

XXI. Un jour, vue troublée et double, ouïe abolie; respiration gênée, toux fréquente, pouls dur et galopant. Saignée rouge, guérit.

XXII et XXIII. Douleurs de tête, étourdissements, crampes. Réformés.

XXIV et XXV. Rien d'important.

XXVI. Accidents thoraciques et cérébraux ordinaires; guérit après de fortes transpirations. (P. 250 à 259.)

Catégorie spéciale *n'ayant travaillé qu'un jour et sans préparation, à* 2,8 *atmosphères.*

Neuf hommes sortirent sans se plaindre de rien. Mais peu après, huit éprouvèrent des douleurs musculaires très-intenses, qui disparurent dans la nuit, excepté chez un, où elles persistèrent plusieurs jours.

Deuxième catégorie. — *Ouvriers n'ayant pris part aux travaux qu'à partir de 2,9, atmosphères.*

I. Aucun effet.

II. Seulement douleurs musculaires dans la cuisse gauche, qui cédaient à l'eau froide.

III, IV. Rien.

V. Douleurs musculaires médiocres, mais persistantes d'une pose à l'autre; la recompression les faisait disparaître aussitôt.

VI. Rien.

VII. 28 ans. Athlétique. Pression de 3,8 pour commencer. Après dix jours perte de connaissance, trismus violent. Pouls rapide.

Saignée semi-rutilante huit heures après, purgation, vésicatoires.

Le surlendemain, *tout à coup la connaissance revient :* le malade ouvre les yeux, semble sortir d'un rêve, prononce quelques mots étonnés.

Guérit, mais demeure profondément sourd.

Troisième catégorie. — *Ouvriers qui ont commencé à 4,154 atmosphères.*

I, II. Rien.

III. A eu des hémoptysies antérieures. Amélioration.

IV, V, VI. Rien, sinon douleurs musculaires assez vives.

VII. 40 ans. Très-robuste. N'est descendu qu'une fois dans le puits. A sa sortie (décompression en vingt minutes), est *mort* presque immédiatement.

A l'autopsie, 36 heures après la mort : emphysème sous-cutané généralisé (existait avant que la putréfaction commençât, notent les auteurs); rien aux méninges, au cerveau, au cervelet; *congestion des poumons avec teinte noirâtre généralisée* (souligné par les auteurs); sang fluide et noir dans le cœur; foie, rate et reins engorgés.

VIII. Rien.

IX. Douleurs musculaires modérées.

X. A sa première séance, douleurs musculaires très-vives, persistantes pendant plusieurs jours. Réformé.

XI. Idem.

XII à XIX. Rien, sinon d'insignifiantes douleurs musculaires. Cependant ont supporté la pression de quatre atmosphères un quart pendant trois mois.

XX. A sa première séance, décompression trop rapide. Quelques minutes après sa sortie du *sas*, *offrait l'aspect d'un cadavre :* face livide, froideur glaciale, yeux ternes, pupilles énormément dilatées, respiration anxieuse; en auscultant le cœur, on n'entend qu'un vague frémissement; pouls insensible; intelligence abolie; urines involontaires; vomissements noirâtres; impuissance musculaire complète.

Bain chaud, couvertures, frictions. Après une demi-heure, le pouls commence à devenir perceptible, la respiration est plus ample, un peu de chaleur reparaît au tronc; le malade balbutie des mots sans suite. Pendant la nuit, à peine la chaleur est-elle rétablie, que des douleurs atroces éclatent dans les muscles; vives douleurs de tête, cécité et surdité; pouls misérable, à 50.

Amélioration nette le surlendemain; le malade voit confusément. Mais conserve une vue faible et des pupilles anormalement dilatées.

XXI. A sa première séance, décompression trop rapide. Vives douleurs musculaires persistant six jours.

XXII. A sa première séance, décompression trop rapide. *Perte de connaissance*, résolution des membres; respiration gênée, pouls plein, dur, 130 pulsations.

Saignée rouge, sinapismes; après quatre heures, la connaissance revient. Dans la nuit, crampes et douleurs musculaires d'une violence épouvantable.

Survit, mais avec un grand affaiblissement de la vue et une surdité profonde. (P. 265 à 275.)

Je citerai enfin l'accident arrivé à M. Pol lui-même, parce qu'il contient l'énoncé d'un phénomène des plus curieux, et sur l'importance duquel nous aurons à insister plus tard. La pression subie avait été de 3,48 atmosphères :

A 11 heures, il regagna sa demeure ; il ressentait des douleurs vives dans le bras et l'épaule gauches ; les parois du thorax étaient aussi douloureuses. Il lui sembla qu'il existait de l'emphysème dans ces régions.... Vers minuit, il eut quelques frissons que des vomissements suivirent. Il prit une tasse de thé et s'endormit ; bientôt il survint une transpiration abondante. Le lendemain, il était dans son état ordinaire. (P. 250.)

En résumé, les accidents constatés, *lors de la décompression*, sont les suivants :

Difficultés respiratoires, pouvant aller jusqu'à l'anxiété ;

Accélération et dureté du pouls ;

Douleurs musculaires souvent très-vives : « aucun des effets de la décompression ne s'est montré aussi général ; unique dans beaucoup de cas, il est initial dans presque tous..... C'est le premier et le plus large anneau d'une chaîne qui comprend successivement, par rang ascendant de gravité et descendant de fréquence, la contraction non permanente ou clonique, la résolution et enfin la sidération » (P. 277.) ;

Accidents cérébraux, hébétude, perte de la sensibilité et de la conscience, coma. Surdité, cécité, très-souvent permanentes ;

Enfin, mort subite.

La lecture des observations relevées ci-dessus montre quelle variété de forme et d'intensité présentent les accidents, même pour des pressions égales, chez les individus différents, et parfois chez le même individu.

MM. Pol et Watelle ont remarqué que les jeunes hommes de 18 à 26 ans ont beaucoup mieux résisté que les hommes faits : sur les 25 réformés, 19 avaient plus de 40 ans et 5 plus de 30 ; l'autre avait 28 ans.

Ces accidents sont attribués exclusivement, par les médecins de Douchy, à des congestions pulmonaires, hépatiques, rénales ou cérébrales. Nous verrons au chapitre spécial consacré à l'énumération des explications théoriques, quelles sont celles qu'ont présentées de ces phénomènes pathologiques MM. Pol et Watelle.

J'ai tenu à analyser longuement leur important Mémoire, le premier en date pour l'étude des hautes pressions, non-seulement à cause des nombreuses observations pleines d'intérêt qui s'y trouvent rapportées, mais parce que des vérités d'une haute importance y sont mises pleinement en lumière :

1° « La compression, jusqu'à 4 atmosphères un quart, n'est pas à craindre par elle-même ; elle se supporte parfaitement et infiniment mieux qu'une raréfaction proportionnelle beaucoup moins considérable. » Le retour à la pression naturelle seul est à craindre ; son danger est proportionnel à la fois à la valeur de la compression et à la rapidité de la décompression : il faut donc ralentir beaucoup celle-ci ;

2° Dans l'air comprimé, le sang veineux devient rutilant. Cet effet persiste un peu après le retour à la pression normale ;

3° On est « autorisé à espérer » qu'un moyen de soulagement certain et prompt serait de recomprimer immédiatement, pour décomprimer ensuite avec précaution ;

4° Les chlorotiques ou anémiques, les personnes qui respirent difficilement, pourront tirer un parti utile du séjour dans un air variablement comprimé.

Pendant les travaux de Douchy, une explosion survint, au moment où la pression totale était de 3,20 atmosphères. Elle fut l'objet d'un rapport de M. Comte[1], ingénieur en chef des mines. Huit hommes se trouvaient en ce moment dans l'appareil ; quatre furent tués par écrasement ; deux autres, après avoir commencé à monter l'échelle pour sortir du cylindre, la lâchèrent, sans qu'on ait jamais pu savoir pourquoi ni comment ; un septième ouvrier n'éprouva aucun accident ; le huitième, envahi par l'eau, put également s'échapper. M. Comte fait à son propos une hypothèse curieuse et étrange, intéressante parce qu'elle montre combien, en ces questions, les meilleurs esprits errent aisément :

Peut-être, dit-il, trouva-t-il secours pour remonter sur l'eau..... dans la légèreté

[1] *Rapport sur l'explosion d'un cylindre à air comprimé sur l'avaleresse n° 7, située dans la concession de Douchy* (Nord). — *Ann. des mines*, 4e série, t. II, p. 121-148, 1847.

spécifique que lui communiquait l'air comprimé dont certaines parties de son corps étaient encore plus ou moins remplies. (P. 130.)

La nouvelle méthode se généralisa rapidement. D'autres puits furent creusés, et l'on observa des faits analogues à ceux qu'avaient signalés MM. Pol et Wattelle.

C'est ce qui arriva, par exemple, au rapport de Bouhy[1], dans la mine de Strépy-Bracquegnies (Belgique) :

A Strépy-Bracquegnies, tous les ouvriers, un seul excepté, qui ont travaillé dans l'air comprimé à 3,70 atmosphères, et pendant quatre à cinq heures consécutives, ont été atteints, après leur sortie de l'appareil, de douleurs plus ou moins aiguës..... Ces douleurs, dont le siége était principalement dans les articulations, telles que les genoux, les épaules, les plis des bras, se présentaient chez certains individus avec un degré d'acuité tel qu'ils restaient quelquefois plus de quarante-huit heures sans pouvoir goûter le sommeil. . . . .

On a remarqué que quelques ouvriers assez fortement attaqués, et qui étaient descendus pour travailler, se trouvaient débarrassés de toute douleur dès qu'ils étaient comprimés, mais qu'elles se faisaient sentir de nouveau quelque temps après leur sortie de l'appareil.

Outre ces effets, l'auteur signale encore des picotements incommodes sur toute la surface du corps et particulièrement aux extrémités.

Mais c'est surtout à la fondation des piles de pont que l'air comprimé est employé, et c'est dans ces conditions que des centaines d'ouvriers sont chaque année exposés à son action. Il n'est donc pas sans intérêt pour nous d'indiquer d'une manière rapide en quoi consiste, dans ce cas particulier, la mise en application de la méthode Triger.

La figure 6 nous permettra d'être très-bref dans nos explications; c'est une figure demi-schématique que nous empruntons au mémoire plus loin analysé du Dr Foleÿ.

Un tube de fonte MM composé d'anneaux concentriques réunis par des boulons *m*, et terminé à sa partie inférieure par une chambre évasée ou « crinoline », est descendu dans le lit du fleuve à la place que devra occuper la pile de pont. Il est coiffé à son extrémité supérieure par une pièce à 3 compartiments; celui du milieu, F, communique constamment avec le tube de fonte; une machine soufflante y envoie continuellement, par un tube G, de l'air suffisamment comprimé pour pouvoir chasser toute l'eau du cylindre de fonte, et sortir incessamment en bouillonnant tout autour; le fond s'assèche

[1] *Creusement à travers les sables mouvants d'un puits de la mine de Strépy-Bracquegnies. — Ann. des trav. publ. de Belgique*, t. VII, 1848; cité par Barella, p. 621.

alors, comme il arrive au tube de verre dans lequel un enfant souffle après l'avoir plongé dans l'eau.

Dans ces conditions, l'ouvrier qui vient à son travail, ouvre la porte d'une des chambres latérales, E, la referme derrière lui, et, par un robinet de communication avec la chambre centrale F, équilibre la pression de l'air où il est plongé avec celle de l'air du cylindre. Ceci fait, il ouvre aisément la porte intérieure jusque là fermée par la pression, et descend par une échelle jusqu'au fonds du puits. Là, il travaille, remplit, avec les matériaux qu'il enlève, des seaux qu'on remonte et qu'on vide au dehors. Veut-il sortir? il se présente devant l'autre chambre latérale C où l'air est resté sous pression, y entre, referme la porte, et laisse, par un robinet qui communique avec le dehors, s'échapper l'excès d'air comprimé. Il peut alors aisément ouvrir la porte extérieure et quitter l'appareil.

Fig. 6 (empruntée à la thèse de M. Foleÿ).
Schéma représentant le fonçage d'une pile de pont par les tubes à air comprimé.

Au fur et à mesure que le travail avance, que l'excavation augmente, le tube de fonte s'enfonce par son propre poids et par celui de la maçonnerie *nn*

dont on le charge; on superpose alors de nouvelles rondelles de fonte, jusqu'à ce que la creusée soit finie; il ne reste plus enfin qu'à remplir de maçonnerie tout le cylindre, et la pile est terminée.

C'est par cette méthode si simple, beaucoup plus compliquée, cependant, en pratique, que ne semble l'indiquer la description qui précède, qu'ont été construits, depuis 1851, un grand nombre de ponts.

La conception de cette application à la fondation des piles de pont de son système d'assèchement, appartient à M. Triger lui-même[1]. Mais cette idée ne fut réalisée qu'en 1851 par l'ingénieur anglais Hughes, pour la construction du pont de Rochester, sur la Medway, dans le comté de Kent.

Un ingénieur d'origine française, Brunel, construisit par ce système le pont de Chepstow, sur la Wye (1849-1851) et de Saltash (1854-1859); pour ce dernier, la profondeur maximum atteinte fut 26^{m},68 au-dessous de la haute mer. A celui-ci seulement arriva un accident mortel; un homme mourut en quittant le cylindre où il était resté fort peu de temps. Je n'ai pu, du reste, me procurer de renseignements détaillés sur ces faits.

En 1856, M. Cézanne[2] fut chargé d'établir un pont à Szegedin (Hongrie), pour permettre au chemin de fer autrichien du S. E. de traverser la Theiss, affluent du Danube.

Il employa le système des tubes à air comprimé. Les travaux de fouilles ont été « arrêtés à 20 mètres environ sous les hautes eaux, pour ne pas s'exposer à la pression de 3 atmosphères, au delà de laquelle le travail des hommes est très-pénible ». (P. 355.)

Un paragraphe spécial du mémoire de mon regretté collègue est consacré à l'étude des effets physiologiques de l'air comprimé :

Il y a trois phases à distinguer : l'entrée, le séjour, la sortie.

Lorsqu'on ouvre le robinet d'entrée de l'air, on est immédiatement saisi aux oreilles par un bourdonnement violent accompagné de douleurs dont l'intensité varie avec les individus. . . . .

Le séjour au fond du tube, dans une pression de trois atmosphères, peut être prolongé pendant plusieurs heures sans inconvénients; le timbre de la voix est un peu altéré, la respiration activée comme par une marche rapide; une cigarette qu'on agite se consume en flambant; les bougies brûlent rapidement, mais avec une flamme fumeuse. . . . .

Le moment de la sortie, quoique peu douloureux pour la grande majorité des

[1] *Lettre à M. Arago. — Comptes rendus de l'Academie des sciences*, t. XX, p. 445, 1845.

[2] *Notice sur le pont de la Theiss et sur les fondations tubulaires. — Annales des ponts et chaussées*, 1859, 1re semestre, p. 334-382.

individus, est le plus dangereux pour les ouvriers..... Le sang afflue quelquefois dans le nez et dans la gorge; certaines personnes éprouvent des névralgies violentes, mais courtes; d'autres conservent pendant plusieurs jours des maux de tête et des douleurs de dents. . . . .

Les ouvriers qui travaillent habituellement dans les tubes ont mauvaise mine; ils résistent cependant très-bien. (P. 369.)

Le 12 décembre 1859, il y eut une explosion de pile au pont de Bordeaux, d'où décompression instantanée; sept des ouvriers qui y travaillaient n'ont éprouvé aucun accident. Deux furent tués, mais par des causes purement mécaniques.

M. P. Regnauld[1], qui rendit compte des travaux, ne dit pas sous quelle pression eut lieu cet événement, mais il résulte de son Mémoire que l'enfoncement du tube était alors certainement inférieur à 12^{m},90. (P. 82.)

On a bâti, en 1859, un pont sur le Nil, le pont de Kaffre-Azzyat : les piles furent creusées à 26 mètres au-dessous de l'eau. Cinq Arabes moururent des effets de la pression : un dans la cage même, en s'en allant, mais avant d'être sorti dehors; la pression était de 36 livres anglaises par pouce carré[2]. Les autres se sentirent malades dans le cylindre et moururent pendant la décompression; la pression était alors de plus de 30 livres. Le sang sortait par la bouche, le nez et les oreilles.

Le Mémoire de Babington et Cuthbert[3], auquel j'emprunte les faits précédents, est spécialement consacré à l'étude médicale des accidents observés pendant la fondation du pont de Londonderry, en octobre 1861.

La profondeur atteinte a été de 75 pieds au-dessous du niveau de l'eau :

La pression supportée par les ouvriers fut, au maximum, de 43 livres par pouce carré, en tout. Ils souffraient de douleurs d'oreilles, de maux de tête, de douleurs dans les jambes, de saignements de nez, de malaises généraux. Ces symptômes augmentaient beaucoup quand les robinets étant ouverts tout grands, le changement de pression était trop rapide..... Ces symptômes apparaissaient d'abord en entrant dans l'air comprimé; mais ils étaient beaueoup plus forts quand on passait des cylindres dans l'air libre : des accidents sérieux, mortels même, sont alors arrivés.

[1] *Mémoire sur la construction du pont métallique sur la Garonne, à Bordeaux.* — *Ann. des ponts et chaussées,* 1867, 2e semestre, p. 27-115.

[2] Une atmosphère correspond à 15 livres par pouce carré.

[3] *Paralysis caused by working under compressed air in sinking the Fondations of Londonderry New Bridge.* — *The Dublin quart. journal of medical science,* t. XXXVI, p. 312-318, 1863.

Je reproduis, en les abrégeant, les six observations des auteurs :

I. 3 octobre 1861. Homme de 28 ans, ayant travaillé quatre heures sous une pression de 23 livres ; en sortant, tombe insensible. Froid et livide ; insensibilité totale, paralysie faciale à droite ; strabisme de l'œil droit ; pupilles presque immobiles ; 150 pulsations, petites et irrégulières ; bruits du cœur à peine perceptibles ; respirations très-irrégulières, de 24 à 44 par minute ; inspiration brusque, expiration prolongée.

Saignée : sang noir, visqueux et poisseux..... Mort vingt-quatre heures après la sortie du cylindre.

II. Cas absolument semblable, survenu en même temps. Mort de même en vingt-quatre heures.

III. 23 ans. Quand nous le visitâmes, il était tout à fait abattu, mais avait sa connaissance, se plaignait de douleurs aux jambes et aux cuisses. Incapable de marcher, jambes et pieds froids et insensibles. Était assis les pieds *dans le feu*, si bien que plusieurs de ses orteils furent brûlés sans qu'il sentît la chaleur.

Il n'était pas devenu de suite malade, et comme il avait souffert des jambes les jours précédents, il n'avait appelé le médecin que plusieurs heures après être sorti du cylindre.

Deux jours après était guéri, sauf ses brûlures.

IV. Cas semblable. Hémoptysie. Guérison.

V. 18 ans, le 3 octobre. Quatre heures sous la pression ; tombe sans connaissance pendant qu'on décomprime..... État demi-comateux, répond quand on l'excite et retombe dans l'insensibilité. Les symptômes comateux passèrent en dix-huit heures ; il était alors paralysé totalement depuis la quatrième côte. Rétention d'urine, perte de sensation et autres symptômes des maladies de la région médullaire cervicale.

Mourut à l'hôpital 162 jours après ; n'a jamais retrouvé la sensibilité ni le mouvement.

VI. 30 ans. Symptômes identiques ; seulement la paralysie ne commence qu'à la huitième vertèbre dorsale. Vécut trente jours.

Beaucoup d'autres cas de paralysies légères, de douleurs musculaires et autres affections nerveuses furent également observés.

Aucune autopsie n'a malheureusement pu être faite.

Nous verrons plus loin l'explication que les deux médecins anglais ont donnée de ces faits.

En 1859, un travail de la plus haute importance, la fondation des piles du pont de Strasbourg à Kehl, fut exécuté à l'aide de l'air comprimé. Deux Mémoires intéressants, l'un plus spécialement pathologique, l'autre plus physiologique, nous ont rendu compte et des sensations éprouvées, et des phénomènes observés, et des accidents survenus. Le premier, par ordre de date, est celui du Dr François[1] ; nous nous en occuperons d'abord.

[1] *Des effets de l'air comprimé sur les ouvriers travaillant dans les caissons servant de base aux piles du pont du grand Rhin,* — *Ann. d'hyg. publ. et de méd. lég.*, 1860, 2e série, t. XIV, p. 289-319.

L'auteur commence par décrire rapidement les appareils employés dans les travaux du pont. La durée du travail était de quatre heures, et les postes se succédaient après huit heures de repos. La pression totale s'est élevée à 3 atmosphères et demie. La décompression, d'après les règlements, devait durer de 6 à 8 minutes jusqu'à 2 atmosphères; de 12 à 15 minutes jusqu'à 3 atmosphères; mais l'imprudence des ouvriers a presque toujours empêché la stricte exécution de ce règlement.

Effets physiologiques. — Respiration allégée, moins fréquente; ampliation plus considérable de la poitrine, « ce qui s'explique de soi-même; » circulation exagérée pendant la compression, se ralentissant lors du retour à l'air libre; amaigrissement sensible, même chez les ouvriers qui n'ont pas souffert.

L'auteur insiste peu sur ces faits, et annonce qu'ils seront développés dans le travail de M. Bucquoy dont nous rendrons compte tout à l'heure,

Effets pathologiques. — Ce sont d'abord des *otalgies* et *otites*, après lesquelles souvent l'ouïe reste très-dure.

Puis des douleurs dans les muscles ou les articulations : il y en a eu 133 cas. Elles se dissipent au bout de quelques jours. Quelquefois, on constate un gonflement local assez manifeste, mais sans crépitation. Dans un des cas, le sein gauche d'un des ouvriers s'est gonflé subitement, de manière « à ressembler au sein bien conformé d'une femme »; ce gonflement douloureux a cédé rapidement à l'application de quelques ventouses scarifiées. (P. 307.) Dans un autre, le malade est resté incapable de se servir de sa jambe gauche.

M. François signale encore, comme fréquentes, les démangeaisons à la peau, les *puces*, comme les appellent les ouvriers; elles cédaient, dit-il, à des lotions d'eau fraîche.

Il explique, par des congestions vers le poumon, le cœur, le foie et la rate, quelques accidents assez obscurs, où se mêlent des suffocations, des palpitations, etc.; l'un des malades, sujet du reste à des hémoptysies, a succombé quelques mois après.

Enfin, la céphalalgie violente, la perte de connaissance, sont attribuées à une congestion cérébrale; ces congestions ne commençaient qu'au bout d'un quart d'heure ou d'une demi-heure. Dans l'un des cas, l'ouvrier, sorti des caissons (3 atmosphères) sans rien éprouver qu'un picotement très-incommode par tout le corps, gagne d'un pas leste la citadelle; arrivé là, il tombe comme foudroyé : saignées

répétées, purgatifs, etc.; il se rétablit, sauf, pendant assez longtemps, une faiblesse notable des membres inférieurs.

Ceci amène à la description de quelques lésions fonctionnelles de la moelle épinière : rétention d'urine, violentes douleurs dans les membres, et, pour un malade, paraplégie persistante à gauche; la pression était de 3 atmosphères.

Notons enfin que de légères hémorrhagies nasales et même pulmonaires ont été quelquefois signalées.

Je ne cite que pour mémoire un travail de M. Willemin[1], qui n'est qu'un simple compte rendu de celui de M. François, dont l'auteur semble accepter toutes les conclusions, car il ne s'occupe nullement des explications théoriques.

La thèse de M. Bucquoy[2] est au contraire un travail original et d'une véritable importance. Ses observations, comme je l'ai dit, ont été faites lors de la construction du pont de Kehl.

Nous trouvons, au début de son exposition, un renseignement dont nous verrons peut-être plus tard à tirer quelque profit, c'est que l'air des caissons où travaillaient les ouvriers, contenait en moyenne (six analyses à des époques différentes) 2,37 d'acide carbonique pour 100.

Arrivant à l'étude des phénomènes physiologiques, M. Bucquoy décrit d'abord les douleurs d'oreilles.

Relativement à la circulation, il donne le tableau suivant :

NOMBRE DES OBSERVATIONS	POULS A L'AIR LIBRE	POULS PENDANT LES DIFFÉRENTS TEMPS DE LA COMPRESSION	DIFFÉRENCE EN PLUS
10	77,85	Pendant que l'air arrivait. . . 100,05	22,20
9	77,08	Après un quart d'heure de séjour 90,12	13,04
7	75,39	Après 25 minutes. 86,80	11,41
28	76,05	Après une demi-heure. 81,57	5,32
11	76,59	Après 1 heure. 83,58	6,99
3	76,50	Après 2 heures. 83,50	7,00

Ainsi, dans l'air comprimé, le nombre des pulsations est plus grand qu'à l'air libre, et cela est vrai pour tous les degrés de pression et surtout jusqu'à 2 atmosphères 1/2. M. Bucquoy, qui signale

[1] *Remarques sur l'emploi de l'air comprimé dans les travaux d'art.* — *Gaz. méd. de Strasbourg*, 1860, p. 179.

[2] *De l'air comprimé.* — *Thèse de Strasbourg*, 1861.

ici sa contradiction avec les auteurs qui ont observé des malades, ajoute :

Je possède néanmoins une observation qui semble confirmer ce que dit M. Pravaz quant à l'action sédative de l'air comprimé. Un de mes amis, M. Ritter, étant descendu avec moi dans les caissons, malgré une fièvre très-intense, a vu son pouls tomber de 95 à 75 au bout d'une heure de séjour. (P. 24.)

La capacité respiratoire augmente également, comme l'avait déjà dit Pravaz (voy. le chapitre suivant) ; le tableau résumé suivant donne la mesure moyenne de cette modification :

NOMBRE DES OBSERVATIONS	MOMENT OÙ ELLES ONT ÉTÉ FAITES	CAPACITÉ RESPIRATOIRE EN CENTIMÈTRES CUBES
103	10 minutes avant l'entrée dans le sas.	2950
103	Après une demi-heure de séjour dans l'air comprimé.	3224
103	Un quart d'heure après le retour à l'air libre. . . .	3075
10	Après trois quarts d'heure.	3004
10	Après 2 heures.	3000
10	Après 10 heures.	2980
10	Après 15 heures.	2950

Ainsi l'augmentation, qui est constante, et qui, comme le montrent d'autres tableaux, va en augmentant jusqu'à 2 atmosphères, persiste encore assez longtemps après la décompression.

Aussi M. Bucquoy ajoute avec raison :

En montrant que cet effet n'est pas passager, qu'il ne cesse pas avec la compression, mes expériences font pressentir l'efficacité des bains d'air comprimé chez les sujets dont la capacité vitale est trop petite. (P. 29.)

A propos des phénomènes généraux de la nutrition, M. Bucquoy, après avoir analysé tous les travaux antérieurs aux siens et fait ressortir leurs contradictions, apparentes au moins, déclare qu'il

Incline à croire que, dans l'air comprimé, les combustions respiratoires augmentent; mais les bases sur lesquelles on a voulu appuyer cette idée manquent de solidité, et c'est une question à revoir.

M. le docteur Foley[1] a écrit sur notre sujet une curieuse brochure, très-souvent citée et avec éloges. Il avait observé les accidents des

[1] *Du travail dans l'air comprimé.* — Paris, 1863.

tubistes, lors de la construction, en 1861, du pont d'Argenteuil sur la Seine; la pression maximum n'avait pas dépassé 3 atmosphères et demie. Je commencerai par citer quelques passages des plus caractéristiques dans lesquels M. Foleÿ décrit et explique tout à la fois les phénomènes qu'on éprouve dans l'air comprimé :

Tous les sons, dans les tubes, ont un timbre métallique qui vous ébranle le cerveau; et quand on parle, on se fait vibrer la base du crâne comme une trompette.

Expliquons ces phénomènes. En aplatissant notre muqueuse aérienne dans sa totalité, l'air comprimé rend nos cavités pharyngo-laryngiennes et bucco-nasales plus grandes et osseusement sonores.

De plus, pour entrer en vibration, il imprime, aux bords du larynx, de la langue, des lèvres, du voile du palais, et même des narines, des tensions d'autant plus fortes qu'il est plus dense. Il ne faut donc pas s'étonner si tous ces organes haussent les sons qu'ils produisent..... Vu la faiblesse de nos lèvres, nous y perdons tous le sifflet.

Quelques individus sentent diminuer et perdent même totalement le goût et l'odorat dans l'air comprimé.

L'aplatissement de la muqueuse aérienne qui rend impossible toute hémorrhagie des voies respiratoires et guérit subitement (sinon sans douleur) le coryza et l'enrouement, explique parfaitement tous ces faits. Comment un organe flétri, ratatiné, pourrait-il recueillir des saveurs quelconques.

Notre peau est plus solide que notre muqueuse; malgré cela les tubes l'influencent. Ses papilles, comme celles du nez et de la langue, y deviennent moins sensibles, et beaucoup d'ouvriers, à mains pourtant fort calleuses, trouvent leur toucher moins sûr dans l'air comprimé. . . . .

En ce même milieu, notre pouls devient rapidement filiforme et même insensible. La *vis a tergo* manque promptement dans nos veines, notre circulation languit, mais nos tissus ne deviennent pas livides; le contraire aurait plutôt lieu.

C'est que la grande tension de l'air, en favorisant la combinaison de l'oxygène avec notre sang, comme avec tous les autres combustibles, le rend si riche, qu'il sort aussi rutilant de nos veines que de nos artères. Quelle décoloration serait possible avec un pareil liquide?

Dans l'air comprimé, notre capacité pulmonaire augmente, et les mouvements de nos côtes diminuent. L'excès de pression qui fait dissoudre l'oxygène dans nos plus fines ramifications vasculo-sanguines rend superflu le jeu du thorax, et notre centre nerveux coordinateur le réduit, pour ce motif, à son minimum d'amplitude.

Économie de force et de temps, telle est la loi que l'âme humaine suit dans les nombreuses combinaisons qu'elle fait pour nous maintenir en harmonie avec le monde, même quand il s'agit de notre vie végétative.

Les ouvriers, quand ils travaillent dans les tubes, sentent moins la fatigue qu'à l'air libre, et ne s'essoufflent pas autant. La faim les prend vite; ils suent beaucoup, et cependant n'ont jamais soif.

Voici le pourquoi de tous ces phénomènes, contradictoires en apparence seulement.

L'absence de soif, malgré d'énormes déperditions sudorales, a pour cause la grande quantité d'eau que l'air comprimé tient en dissolution et fait pénétrer dans l'organisme.

Les sueurs sont dues au concours que notre tégument externe ne refuse jamais aux poumons, surtout dans une atmosphère chaude, quand il s'agit de rejeter beaucoup de matériaux musculaires désassimilés par le travail.

La faim tient à l'énorme consommation que font de nos tissus divers l'excès d'oxygène qui les pénètre et les contractions plus énergiques de certains d'entre eux.

L'essoufflement moindre est produit par le ralentissement circulatoire qui ne ramène (vers les poumons, le foie et la rate) que peu de sang veineux, puisqu'il n'y en a plus, à vrai dire.

Enfin, l'absence de fatigue dépend précisément de la richesse de ce même liquide nourricier qui, sans relâche, répare nos muscles à mesure que leurs propres contractions les détruisent.

Dans l'air comprimé, nos sécrétions se modifient; celles du poumon et de la peau augmentent considérablement. Celles du tube digestif, des reins et du foie, leurs inverses en maintes circonstances, ne varient pas, ou mieux, diminuent généralement. (P. 12 et 13.). . . . .

Au sortir de l'air, quand aucune maladie ne doit s'ensuivre, on éprouve immédiatement du bien-être. Il semble qu'on respire comme malgré soi, qu'on ait la poitrine pleine d'air, et qu'on soit plus léger. C'est que rien ne vous écrase plus. (P. 17.)

Tels sont les effets produits par l'action passagère de l'air comprimé. Selon M. Foleÿ, les ouvriers qui s'y soumettent fréquemment éprouvent des phénomènes d'un autre ordre :

Toute durée trop longue de travail intratubaire se divise en deux périodes : l'une de bénéfice, l'autre de déperdition organique. . . . .

Tant que la première dure, le tubiste gagne de l'appétit, quitte son ouvrage sans fatigue, rentre dans l'air libre plus alerte, plus vif et plus impatient que de coutume. Il se sent plus fort et s'en vante, avec raison, car alors la richesse de son sang lui profite.

Dès que la seconde commence, l'inverse a lieu. L'ouvrier perd l'appétit et, de plus en plus, arrive à son ouvrage comme il le quitte, triste et fatigué. Sa peau devient flasque, décolorée, quasi terreuse. Les conjonctives prennent une teinte vineuse. Son regard s'éteint. Son visage et tout son être maigrissent. L'indécision, l'immobilité, la stupeur presque, s'étalent sur tous ses mouvements, et peu à peu l'heure sonne où, hors des tubes, il paraît sans vigueur; où l'atmosphère normale ne suffit plus à son hématose.

Dans l'air comprimé, tous ces fâcheux symptômes s'effacent; malheureusement ils reparaissent dès qu'il en sort, et cela de plus en plus vite. Bientôt même, l'excès de pression cesse de le raviver. C'est alors qu'il est à la veille de ne pouvoir plus recouvrer les forces qu'il perd, à chaque fois qu'il travaille, que par l'intervention des phénomènes morbides. (P. 18.)

Voilà pour les phénomènes purement physiologiques. Quant aux accidents, les *puces*, ou démangeaisons atroces à la peau, ne commencent guère à apparaître avant la pression de 2,5 atmosphères; au delà de 3 atmosphères, « elles ne manquent chez personne; »

les tuméfactions musculaires (*moutons*) sont fréquentes vers 3 atmosphères, ainsi que les « gonflements synoviaux » ; mais les articulations elles-mêmes ne sont prises que plus tard et plus rarement. Les accidents des muscles atteignent particulièrement ceux qui ont été fatigués par des contractions répétées.

Le nombre de jours pendant lesquels les ouvriers auront travaillé dans les tubes paraît à M. Foleÿ une considération des plus importantes ; sous une pression à peu près égale, les accidents deviendraient de plus en plus fréquents et graves, à mesure qu'on s'éloigne du début du travail.

On n'a pas, du reste, observé à Argenteuil de terminaison fatale, ni de paralysie. Les plus sérieux accidents sont des douleurs musculaires qui, d'après les détails des observations, paraissent avoir été d'une violence extrême.

M. Foleÿ est en contradiction avec tous les autres auteurs sur deux points capitaux, et de la plus haute importance pratique. Selon lui, d'abord, lorsque les ouvriers prolongent leur séjour dans les tubes au delà de 12 heures, ils en sortent impunément : cela tient, dit-il, à ce que « la réaction nervoso-sanguine est générale » (p. 49) ; mais cette prétendue explication importe peu.

En second lieu, chose curieuse, il n'attache aucune importance à la rapidité de la décompression. Une minute par atmosphère de compression lui paraît une durée suffisante :

Pour des pressions supérieures à 3 1/2 atmosphères (décompression en deux minutes trente secondes), faudrait-il suivre la même progression ? Je ne le pense pas ; deux minutes et demie sont bien longues dans une écluse glaciale. (P. 56.)

Si l'on devait employer ces hautes pressions, M. Foleÿ conseille de décomprimer les hommes en « trois minutes ». Il est, du reste, si éloigné de l'idée qu'une décompression rapide puisse être dangereuse, et tellement persuadé qu'elle n'agit qu'en refroidissant, qu'il résume sa pensée par ce précepte :

Si le brouillard épais et glacial qui ne manque pas de se produire vous pénètre trop, hâtez-vous ! (P. 53.)

La fondation par l'air comprimé a été employée en 1862 au viaduc sur le Scorff, à Lorient, et, en 1864, au pont sur lequel le chemin de fer de Napoléon-Vendée traverse la Loire à Nantes. M. l'ingénieur en chef Croizette-Desnoyers[1], qui donne sur la construction

[1] *Mémoire sur l'établissement des travaux dans les terrains vaseux de Bretagne.* — *Ann. des Ponts et Chaussées*, 1864, 1er semestre, p. 275-396

et le fonctionnement des appareils établis par la maison Gouin les plus minutieux détails, ne parle pas de l'état des ouvriers ; il se contente de reconnaître que « aux grandes profondeurs, le système de fondation à l'air comprimé peut nuire à la santé des ouvriers » (p. 392).

Cependant des accidents graves étaient arrivés au pont du Scorff. Le relevé des ouvriers malades, dressé par M. le docteur Nail, porte 16 noms ; les accidents, tous dus à l'air comprimé, comprennent : 1 cas de surdité, 6 cas de douleurs articulaires, 1 de douleurs musculaires, 6 congestions cérébrales, 2 morts.

Les deux morts ne furent pas simultanées. La première arriva le 17 mars 1862 ; l'ouvrier mourut « d'asphyxie à la sortie du caisson » ; la seconde, le 3 juin, dans une autre pile ; la note médicale porte : « décédé après quatre heures de congestion cérébrale et d'asphyxie. »

Je n'ai pu me procurer aucun détail ni sur les accidents qui ont précédé la mort, ni sur les résultats des autopsies, si elles ont eu lieu, ni même sur la pression atteinte. Je sais seulement que la décompression se faisait régulièrement en 10 secondes et que le maximum d'enfoncement, pour la première pile, a été 18 mètres, pour la deuxième, 12 mètres seulement.

Il se fit ainsi 8042 passages d'ouvriers, pour lesquels il y eut seulement 16 accidents assez graves pour qu'on en prît note. D'autres ouvriers qui se trouvaient dans la chambre d'éclusement avec les deux victimes n'éprouvèrent pas d'accidents.

Ce double malheur fut l'occasion d'une instance d'office contre les employés de la compagnie, prévenus d'homicide par imprudence ; ils furent acquittés par le tribunal de Lorient (30 septembre 1862) et par la cour de Rennes (11 décembre 1862). Les considérants du jugement et de l'arrêt sont fort intéressants, parce qu'ils révèlent les incertitudes d'opinion des hommes de l'art sur la vraie cause des accidents, incertitudes qui motivent les acquittements prononcés.

Un autre accident, suivi d'une autre instance judiciaire, eut lieu au pont du Scorff. Un M. Gallois, ingénieur civil, agent de la compagnie, étant descendu le 12 mai 1862 dans les caissons, fut, à son retour à l'air libre, pris d'accidents de paralysie, « suite de congestions cérébro-spinales, des étourdissements et des secousses nerveuses, » à la suite desquels il dut être envoyé aux eaux ; il mourut deux ans après.

Sa demande de dommages-intérêts fut repoussée par le tribunal de la Seine (le 18 août 1861) ; la compagnie d'Orléans produisit une consultation de M. Dufaure, consultation qui met en pleine lumière, comme les documents judiciaires que je citais tout à l'heure, les hésitations de la science médicale. Le célèbre légiste oppose à l'opinion de Pol et Watelle sur la nécessité de pratiquer la décompression avec une grande lenteur, celle de M. Foley. Le tribunal ne se prononça nullement sur la question scientifique, mais déclara que Gallois n'avait reçu aucun ordre pour descendre dans le caisson, et que par suite la compagnie ne pouvait être déclarée responsable.

Voici l'état dans lequel le docteur Hermel[1], médecin homœopathe habitant Paris, trouva le sieur Gallois, qui l'avait fait appeler en consultation quelques jours après l'accident :

Le 21 mai 1862, nous fûmes appelé à Paris près de M. Gallois, ingénieur civil, âgé de 24 ans. Nous trouvâmes le malade affecté de paralysie incomplète des membres inférieurs, ne permettant ni la station debout ni la marche sans appui ; ne pouvant avancer que d'une manière très-défectueuse, s'appuyant des deux mains à tous les objets environnants, les mouvements des membres étaient irréguliers, saccadés, tremblants ; il traînait les pieds ; s'il voulait se tenir debout, aussitôt un violent tremblement agitait les jambes et le forçait à s'asseoir. Après trois ou quatre pas, le même tremblement convulsif l'arrêtait, parce qu'il augmentait de plus en plus et qu'il l'aurait fait tomber. Par tout le corps la sensibilité cutanée était exagérée, c'était de l'hypéresthésie, la peau était le siége d'un prurit incommode, sans qu'il y eût trace d'éruption. Les mouvements de la langue étaient assez difficiles pour que le malade ne pût articuler nettement tous les mots. La mémoire était confuse, ainsi que les idées. De la suffocation, une toux très-répétée le fatiguait lorsqu'il parlait et produisait une expectoration fréquente, abondante de mucosités d'un aspect analogue à celui du blanc d'œuf. L'auscultation de la poitrine et la percussion faisaient reconnaître que le poumon, quoique perméable à l'air dans toute son étendue pendant de profondes inspirations, ne jouissait pas de toute son élasticité ; on entendait, surtout du côté gauche, l'expansion des vésicules pulmonaires commencer et s'arrêter tout à coup avant que le mouvement de l'inspiration fut terminé. Cette expansion des vésicules pulmonaires était donc incomplète, ce qui nuisait à la respiration normale. Les fonctions abdominales étaient interrompues ; la constipation ne pouvait être vaincue que par des lavements purgatifs : il y avait paralysie du rectum. La vessie était aussi paralysée ; l'émission des urines ne pouvait avoir lieu que par l'usage de la sonde. Il avait perdu l'appétit, et la toux provoquait souvent des vomissements.

Connaissant la vie parfaitement régulière de ce jeune homme, nous l'interrogeâmes sur la date et le mode d'invasion de cette maladie.

Il nous apprit que, employé aux travaux du chemin de fer de Lorient, il était descendu dans un caisson sous la compression de trois atmosphères (y compris la pression extérieure), où il était resté trois heures pour relever l'état des tra-

[1] Des accidents produits par l'usage des caissons dans les travaux sous-terrains et sous-marins. *Art médical*, t. XVI, p. 428-452, 1862 ; t. XVII, p. 27-48, 105-124 et 194-215, 1863.

vaux dans les fondations d'un pont. Il éprouva, trois ou quatre minutes après sa sortie, par l'effet de l'énorme raréfaction de l'air extérieur relativement à la pression intérieure, un froid glacial, subit et profond. En essayant de se laver les mains, il s'aperçut que les mouvements des bras étaient impossibles, il ne pouvait mettre ses mains dans le baquet, parce qu'il ne pouvait les élever plus haut que la ceinture.

Emmené chez lui par deux hommes qui le soutenaient sous les bras, et plaçaient ses pieds sur les échelons qu'il avait à descendre, il se coucha; après quatre ou cinq heures il voulut se lever, mais il était complétement paralysé. Un traitement énergique lui fut appliqué et le mit en état de venir à Paris tant bien que mal. Le dixième jour il était dans l'état que nous avons dit plus haut.

Pendant dix jours nous donnâmes la belladone 12[e] et *bryonia*, qui calmèrent un peu la toux. Le 2 juin, nous avons commencé à appliquer, tous les deux jours, les réophores d'une machine électro-galvanique sur l'hypogastre, pour combattre la paralysie de la vessie. Après la troisième séance, il commença à uriner sans sonde, mais le lendemain il fut obligé d'y avoir recours. Après la quatrième séance, il n'urina seul que dans la journée. A la suite de la cinquième séance, les urines reprirent leur cours naturel. La constipation persistait. Nous électrisâmes les parois abdominales et l'anus. Le cours des selles, quoique parfois difficile, s'est rétabli vers la huitième séance. Après la dixième séance, les membres abdominaux avaient acquis de la force et de l'agilité, surtout à gauche. La jambe droite traînait encore, et dans certaines positions elle était encore affectée de tremblement convulsif; il n'aurait pu se tenir debout sur une seule jambe; il s'aidait d'une canne pour marcher.

En juillet, il alla aux bains de Balaruc, d'où il revint le 1[er] août. Son état s'était amélioré, mais il y avait encore de l'hésitation dans la jambe droite. La toux persistait, quoique moins forte; la respiration était encore incomplète. L'intégrité de la parole, des idées, de la mémoire, était rétablie. Il n'éprouvait plus de prurit ni hypéresthésie de la peau. Six nouvelles applications d'électricité produisirent une grande amélioration dans les mouvements; il put marcher sans appui.

Aujourd'hui, 12 janvier, c'est-à-dire après huit mois de traitement, il éprouve par moments des quintes de toux fatigantes; sa respiration est à peu près normale, l'essoufflement arrive s'il fait une trop longue course ou trop vite. Il marche sans soutien, mais il reste encore de la roideur dans la jambe droite, et nous ne pouvons dire quand il sera complétement guéri. (T. XVII, p. 198-200.)

En 1862 aussi, on construisit sur l'Adour, à Bayonne, un pont dans lequel on dut pousser la pression jusqu'à plus de 4 atmosphères. L'ingénieur civil, qui dirigeait le travail, M. Counord, âgé de vingt ans, qui jusque-là n'avait éprouvé aucun accident, fut, le 31 décembre, quelques minutes après être sorti du sas, où la décompression s'était opérée en 4 ou 5 minutes, pris de vertiges, tournoiement de tête, et perte complète de connaissance. La pression était de 4 atmosphères, la durée du séjour d'une heure; la veille, il était resté dans les tubes pendant deux heures. Trois heures après, lorsqu'il revint à lui, il était complétement paralysé du sentiment et du mouvement dans les membres inférieurs, avec insensibilité des bras.

L'observation détaillée des débuts de ce cas curieux a été donnée par le docteur Limousin[1], de Bergerac, qui n'hésite pas à attribuer les accidents à une hémorrhagie de la moelle épinière :

Transporté de Bayonne à Bergerac, je vois M. C. le 12 janvier 1863 : paralysie complète des membres inférieurs, excrétion involontaire des fèces et de l'urine, sensibilité normale partout, un peu exagérée aux membres inférieurs ; si on les frappe brusquement, si on les touche avec un corps froid, il se produit un brusque mouvement d'extension. Intelligence saine. A l'épigastre et dans les hypocondres, douleurs qui cessent par l'application de morphine sur le derme dénudé. Jusqu'au 20 deux purgatifs furent administrés ; il ne se produisit rien de nouveau, si ce n'est des mouvements convulsifs très-douloureux dans les membres abdominaux.

28. Des douleurs atroces sont survenues hier dans le ventre ; il est souple, la pression ne le modifie pas. L'état du malade est effrayant : plaintes continuelles, voix éteinte, sueurs froides, face cadavérique, pouls insensible, à 48. Des ventouses sèches, des lavements laudanisés ne produisent aucun résultat. Je prescris alors 20 centigrammes d'extrait thébaïque en quatre pilules, d'heure en heure.

Le 29, dès la seconde pilule, les douleurs cessent ; un sommeil profond s'empare du malade ; ils se réveille parfaitement débarrassé. Dès les premiers jours, il s'était formé une petite érosion au sacrum, il y a aujourd'hui une vaste eschare ; les fesses, la région lombaire, sont rouge livide ; le patient ne se tient qu'en supination.

20 *février*. La plaie du sacrum, saupoudrée de quinquina gris, est réduite aux dimensions d'une pièce de 5 francs ; elle est rose et granulée ; des contractions douloureuses ont cédé à l'application d'armatures métalliques. Les mouvements sont possibles dans les membres paralysés ; ils s'exécutent plus librement à droite ; la sensibilité, au contraire, très-obtuse à droite, est plus vive à gauche dans les mêmes parties ; il y a des fourmillements par tout le corps ; un jour, la vue fut entièrement abolie pendant quelques instants ; des érections, rares dans les premiers temps, sont devenues plus fréquentes. Enfin, les selles et les mictions sont volontaires.

Il est difficile de trouver un exemple plus complet de l'apoplexie médullaire : invasion subite, lésions de la contractilité, du sentiment, d'un sens spécial, de l'œil ; mouvements réflexes, provoqués par la plus légère excitation ; profonde dépression de la vitalité des tissus, se manifestant par la rapide mortification des régions qui supportaient le poids du corps ; enfin, érections qui ne s'accompagnent d'aucune excitation du sens génital. Jamais il n'y a eu de sensibilité notable sur le trajet de l'épine.

L'amélioration ne suivit pas une marche ascendante bien rapide. En mai 1870, M. Counord faisait quelques pas sans appui ; il avait encore, quand on pinçait les membres inférieurs, des mouvements réflexes fort remarquables ; la sensibilité de la jambe gauche était fort diminuée. Je l'ai revu en mai 1876 : il pouvait monter, très-difficilement et avec l'appui d'un bras, un étage d'escalier ; des

[1] *Action de l'air comprimé : apoplexie de la moelle épinière.* (*Union médicale de la Gironde*, 1863, p. 269-270.

fourmillements dans les membres antérieurs semblaient indiquer un travail morbide dans les régions supérieures de la moëlle ; les fonctions d'expulsion urinaire et digestive étaient redevenues normales.

Quelques jours plus tard, un accident terrible, dans lequel trois hommes périrent, vint attrister le chantier de Bayonne : le cylindre avait éclaté, comme à Douchy, comme plus tard à Chalonnes. On a avancé l'opinion[1] que la mort des ouvriers avait été occasionnée par la décompression; c'est probablement une erreur, comme le montre l'extrait suivant d'une lettre qu'a bien voulu m'écrire M. l'ingénieur Bayssellance, qui a eu la complaisance de faire, à ma demande, une petite enquête sur ce sujet :

La pile étant profondément enfoncée dans le sable, comptait en tout plus de 30 mètres de hauteur jusqu'au niveau de l'eau. La pression intérieure était donc de 4 1/4 atmosphères environ. Le plateau supérieur n'étant pas construit en vue d'une pression aussi élevée, fléchissait sensiblement : cette flexion entraînait la déformation du cylindre en fonte de la chambre d'équilibre. Un des boulons ayant cédé à la tension devenue oblique, il se produisit un choc, qui fit voler en éclats toute la portion supérieure de la chambre d'équilibre. La dépression fut donc subite dans cette petite portion de l'appareil ; dans l'intérieur de la pile, dont la capacité était de 200 à 300 mètres cubes, elle dut être plus graduelle, et entraîna un violent courant d'air de bas en haut, emportant avec lui les planches et le sable des plateaux de repos.

D'après le contre-maître les résultats furent tout autres qu'on ne l'a dit. *Aucun homme ne fut tué par suite du changement de pression.* Le sable mouillé du fond n'étant plus contenu s'éleva rapidement, atteignit et dépassa un des hommes qui montait à l'échelle; on le retrouva dix-sept jours après en déblayant, cramponné aux échelons dans la position de l'ascension. Un autre fut enlevé par le courant d'air et se trouva porté jusqu'en haut, sans se rendre bien compte de ce qui lui arrivait. Deux autres qui étaient sur les plateaux intermédiaires furent pressés en remontant contre le plateau inférieur de la chambre d'équilibre, et restèrent presque asphyxiés, la bouche pleine de sable; ils furent emportés à l'hôpital, et moururent le lendemain, je crois. Enfin, cinq hommes qui se trouvaient dans la chambre d'équilibre même furent couverts de sable, qui pénétra même dans la peau, et restèrent quelques instants comme hébétés, mais aucun ne fut sérieusement malade.

Ce résultat n'est point conforme à ce qui m'avait été raconté; mais M. Wolff était en tournée au moment de l'accident, M. Counord était malade; il semble plus sûr de s'en rapporter à la version d'un témoin à peu près contraire. Cet homme a assisté, du reste, à un accident analogue, lors de la construction du pont de Bordeaux; là encore, il n'y eut aucune mort causée par la dépression subite; deux hommes seulement furent tués par des éclats de fonte.

Mais si une brusque dépression de plus de trois atmosphères n'a pas été mortelle, ce changement, même tempéré par un séjour de 4 à 5 minutes dans la

[1] *Soc. des Sc. phys. et nat. de Bordeaux,* année 1874-1875. Procès-verbaux des séances, p. XX.

chambre d'équilibre, n'en était pas moins funeste à la longue. D'après M. Counord, 90 p. c. des ouvriers ont été malades, pris tous par des douleurs articulaires violentes, oppression, trouble de la vue, etc. Le contre-maître que j'ai vu a été pris trois fois, et a beaucoup souffert, mais jamais plus d'un jour. Un matin, sur onze hommes qui sortaient, neuf furent pris de douleurs au bout de quelques instants.

Certes il n'est pas impossible que la décompression ne soit pour quelque chose dans la mort des deux ouvriers qui furent ensevelis dans le sable mouillé; mais cela n'est pas prouvé. Le plus curieux dans cette observation est de voir des hommes n'éprouver presque aucun accident à la suite d'une décompression instantanée partant de 4 atmosphères au moins.

En 1865, fondation semblable sur le Louet, à Chalonnes (Maine-et Loire), pour le passage de la ligne d'Angers à Niort. Une catastrophe jusqu'ici inexpliquée vint frapper de mort deux ouvriers :

Le 20 février 1865, au moment où la pile n° 2 reposait sur le rocher, à 14^m de profondeur au-dessous de l'étiage, alors que tout semblait terminé, que déjà la chambre de travail était remplie de béton et que le tube, formant cheminée, était également rempli à 5^m de hauteur, tout à coup une violente explosion eut lieu, la moitié du couvercle de la chambre d'équilibre[1] fut projetée à environ 30^m de distance. Deux ouvriers, qui se trouvaient dans la chambre de travail, furent foudroyés. Personne n'a pu encore expliquer ce terrible accident (Cours des Ponts de M. Morandière).

Il est probable qu'ici, pour une raison inconnue, la tension de l'air comprimé s'était élevée beaucoup au-dessus de ce qu'exigeait la profondeur atteinte; la puissance de l'explosion en fait foi.

Je dois à l'obligeance de M. le docteur Gallard de pouvoir donner à propos de ce grave accident quelques intéressants détails :

La mort des deux ouvriers, m'écrit ce savant confrère, fut presque subite, foudroyante, en quelque sorte, pour l'un d'eux, un peu plus lente pour le second, qui respira encore quelques instants, mais en ayant déjà perdu connaissance.

L'autopsie (faite par M. Gallard dans de mauvaises conditions, après exhumation et autopsie préalable du médecin de Chalonnes) montra de nombreuses plaques d'emphysème interlobaire et vésiculaire sur les poumons des deux victimes. Il y avait, en outre, sous la plèvre et sous le péricarde de nombreuses ecchymoses ponctuées..... Il me semble me rappeler que le sang..... contenait quelques bulles de gaz..... Les notes de l'autopsie ont été perdues par le médecin d'Angers à qui je les avais dictées.

Est-ce à la décompression qu'il faut attribuer la mort? Il est difficile de prendre un parti, en présence d'une autopsie insuffisante

[1] Pesant près de 500 kil., dit le rapport de M. l'ingénieur Dubreil

et surtout du fait que nous avons plus haut rapporté en parlant du pont de Bayonne.

M. Triger s'émut des accidents qu'avait entraînés l'application de son procédé, et il adressa à ce sujet au ministre des travaux publics un Mémoire qui fut soumis à l'examen de MM. Combes, de Hennezel et Féline-Romany.

Le rapport[1] de ces ingénieurs, après avoir passé rapidement en revue les travaux exécutés par la compagnie du Midi sur le Tech, à Bordeaux et à Bayonne; par la compagnie de l'Ouest à Argenteuil, à Elbeuf et à Orival sur la Seine, à Briollay sur le Loir ; par la compagnie d'Orléans sur le Scorff à Lorient, sur le Louet à Chalonnes, et à Nantes sur la Loire, déclare que :

Les accidents auxquels sont exposés les ouvriers qui travaillent dans l'air comprimé mettent rarement leur vie en danger, n'occasionnent que des interruptions de travail assez courtes et sont surtout peu nombreuses, si on les compare au nombre des passages par les *sas* sur chaque chantier.

Les maladies occasionnées par ces accidents peuvent être prévenues par l'emploi des moyens indiqués dans le cours de ce rapport.

Ces moyens sont l'emploi de vêtements de laine dans le sas et un déséclusement pour lequel on ne saurait poser de règle uniforme :

Il n'y en a pas à observer d'autre que celle que le bon sens indique, c'est-à-dire de ne pas ouvrir le robinet trop vite, aussi bien pour l'éclusement que pour le déséclusement, afin de donner à l'organisme le temps de se mettre en équilibre avec le milieu dans lequel il se trouve plongé.

M. Triger demande que le déséclusement dure 7 minutes, et affirme que les accidents disparaissent complétement alors. Il nous semble que ce temps doit varier avec la constitution de l'ouvrier. (P. 125.)

Le foncement d'un puits houiller à Trazegnies, en Belgique, a été vers la même époque, l'objet d'un travail des plus intéressants de M. Barella[2].

La pression totale maximum a été de 3 1,2 atmosphères. La décompression se faisait en 20 minutes environ.

Selon M. Barella, on éprouve en outre, des douleurs d'oreilles :

La sécheresse de l'arrière-bouche, la diminution notable de la sécrétion urinaire, une sensation de mieux-être respiratoire, car il me semblait que je n'avais jamais respiré aussi librement, avec autant de facilité.

[1] *Ann. des Ponts et Chaussées*, 1867, 2e semestre, p. 116-131.

[2] *Du travail dans l'air comprimé. — Observations recueillies à Trazegnies, lors de l'enfoncement d'un nouveau puits houiller. — Bull. acad. de méd. de Belgique*, 3e série, t. II, p. 593-647, 1868.

Pour le pouls, nous ne sommes pas arrivé à un résultat bien net; cependant, il nous a semblé diminué de quelques pulsations chez la plupart de nos ouvriers. (P. 598.)

Les accidents observés ont été :

1° Chez sept ouvriers, épistaxis, sans gravité ;
2° Chez onze ouvriers, douleurs dans les membres thoraciques et abdominaux, parfois *concassantes*, *térébrantes*, *atroces*.
3° Des démangeaisons très-vives aux jambes, mais sans douleurs, accident très-fréquent. (P. 605.)

M. Barella fait remarquer qu'aucun de ces accidents n'est survenu pendant le séjour dans l'air comprimé; on les a constatés à la sortie seulement des appareils. De plus, ils n'ont commencé à se produire qu'au-dessus de 2,8 atmosphères.

M. Barella raconte que les petites plaies que se faisaient les ouvriers en travaillant ne donnèrent pas de sang, « ce qui s'explique par la pression que supportent les téguments cutanés. »

Un élève de l'école des mines de Liége étant descendu dans le puits, le 15 avril, éprouva en sortant des symptômes fort graves, qu'il décrivit lui-même dans les termes suivants :

Pendant la dilatation de l'air, je ressentis un malaise que j'attribuai au froid.

Dès ma sortie, en voulant soulever le bras droit, je ne pouvais lui faire atteindre un point déterminé, sans reprendre deux ou trois fois l'effort. La vue était affectée, et je voyais mon bras se mouvoir de la façon dont on perçoit les objets après avoir tourné quelquefois sur soi-même.

La paralysie s'accentua et il me devint impossible de remuer mon bras qui pendait inerte, je ne pouvais même pas faire des mouvements avec la main. Le phénomène était assez semblable à celui du bras endormi. Il se manifesta progressivement et de la même manière à la jambe droite.

L'on me coucha sur un lit, car je ne pouvais marcher, je m'affaissais. On me frictionna. J'eus des éblouissements et mes yeux me refusèrent tout service. Je ne voyais qu'à de longs intervalles, et pendant une seconde au plus, puis tout disparaissait pour ne plus reparaître que quelques instants après de la même manière. Mes yeux étaient ternes et vitreux, m'a-t-on dit, et ne percevaient qu'une lueur blanche, vaporeuse.

Je recouvrai d'abord l'usage de la jambe, puis du bras; les instants pendant lesquels je voyais se rapprochèrent, et je vis distinctement pendant des instants plus longs.

Enfin il ne me resta de tout cela qu'un violent mal de tête et les signes ordinaires d'une indigestion. Je rendis mes aliments. Mon mal de tête se dissipa au dehors, et je rentrai chez moi sans que rien, sinon la fatigue, me rappelât les émotions précédentes.

L'ami qui m'accompagnait et qui avait fait le même repas que moi ne ressentit rien que d'ordinaire. (P. 612.)

Parmi les conclusions de M. Barella, nous en citerons deux :

1° Il convient de ne pas dépasser une pression de 3 atmosphères et demie en sus de la pression ordinaire;

2° On peut prendre pour base de la durée de la décompression 10 minutes par atmosphère.

Les autres n'ont qu'un intérêt de pure médication : lymphatisme, maladies de cœur, etc.

En Amérique, le premier pont construit par l'air comprimé le fut sur la rivière Great Pee Dee, pour le chemin de fer de Wilmington à Columbia et Augusta. Je n'ai trouvé dans mes lectures aucun renseignement sur ce travail, au point de vue qui nous intéresse ici.

En 1869, un travail vraiment gigantesque fut entrepris à Saint-Louis (États-Unis). Un pont à deux piles fut jeté sur le Mississipi. A la pile de l'est, la profondeur atteinte fut de 33^{m},70 en contre-bas des eaux ordinaires; c'était une profondeur sans exemple dans les applications antérieures de la méthode, et qui devait s'accroître encore par les crues accidentelles du fleuve. La pression totale s'y éleva à 4 atmosphères, 45. Le nombre total des ouvriers qui y furent employés fut de 352; environ 30 furent sérieusement affectés : 12 d'entre ces derniers moururent.

Voici, du reste, un extrait du rapport rédigé par l'ingénieur en chef des travaux, M. Eads[1] :

Quand la profondeur de 60 pieds fut atteinte, quelques-uns des ouvriers furent affectés de paralysie musculaire des membres inférieurs. Elle était rarement douloureuse, et s'en allait en deux ou trois jours. Au fur et à mesure de l'enfoncement du tube, la paralysie s'en alla plus difficilement. Dans quelques cas, les bras furent pris, et plus rarement les sphincters et les intestins. Les malades souffraient aussi beaucoup des articulations quand les symptômes étaient très-graves. Les neuf dixièmes des malades n'éprouvaient pas de douleurs et guérissaient très-vite.

La durée du séjour sous la chambre à air fut graduellement abaissée de 4 heures à 3, à 2 et enfin à 1 heure. L'usage de plaques ou anneaux galvaniques sembla, dans l'opinion du directeur de la construction et des ouvriers, donner une remarquable immunité contre les attaques. A la fin, ils en avaient tous. Elles étaient faites d'anneaux alternatifs de zinc et d'argent, et placées sur la poitrine, aux bras, aux coudes, à la taille et sous la plante des pieds. L'acidité de la sueur suffisait pour établir un courant galvanique, et l'opinion des plus expérimentés en ces matières était tout à fait favorable à ce remède. Le capitaine Eads incline beaucoup à lui croire de la valeur. . . . .

Les ingénieurs du port, qui ont très-souvent visité les travaux des caisses n'ont jamais été malades.

[1] *The effects of compressed air on the human body.* — *The Med. Times and Gazette* vol. II, p. 291-292, 1871.

Les médecins ont beaucoup différé sur la cause des accidents. Les uns soutenaient qu'un retour plus ménagé à la pression normale aurait été moins dangereux ; les autres accusaient de tout le mal la trop rapide compression. Le fait que les ouvriers employés aux fermetures des portes n'ont jamais été affectés, bien que, pendant les deux heures de leur travail ils aient été très-fréquemment dans les conditions extrêmes et alternatives de pression — un moment à la pression normale, et 5 minutes après supportant un poids de 50 livres par pouce carré à la surface de leur corps — semblerait prouver que ces deux théories sont erronées, et nous fait penser que la véritable cause de danger réside dans la longue durée du séjour dans cet air où le corps supporte une pression si extraordinaire, et non des alternatives rapides auxquelles il est exposé. . . . .

Les transitions duraient de 3 à 4 minutes. . . . .

En considérant que des milliers de personnes avaient visité impunément pendant peu de temps les chambres à air, même des dames délicates, et après que le caisson eut atteint le roc, et qu'aucun accident sérieux n'est arrivé aux ouvriers après la réduction à 1 heure du temps de travail, M. Eads a conclu que la vraie cause était dans le travail prolongé.... Un séjour trop long était invariablement suivi de paralysie. Le Dr Jaminet, médecin des travaux, étant un jour resté 2 heures 3/4 quand la profondeur était de 90 pieds, fut dangereusement attaqué après être rentré chez lui.

Le Dr Bauer[1], chirurgien du « City-hospital », auquel on apporta 25 ouvriers atteints pendant la fondation du pont de Saint-Louis, et présentant ce qu'il appelle « Brigde-cases », a donné, sur les phénomènes observés chez ces malades d'intéressants renseignements :

La respiration devient plus fatigante, le pouls plus rapide au début de la compression, ce qui passe assez vite chez les gens bien portants. La voix prend un timbre nasal qu'elle conserve même après la sortie de l'air comprimé.

En sortant, tous les ouvriers sont très-pâles, extrêmement fatigués, jusqu'à s'étendre sur le sol. Chez d'autres on voit des contractions musculaires involontaires, choréiformes, avec saignements du nez et du poumon.

Dans les cas graves, on voit des paralysies à différents degrés, depuis une légère parésie jusqu'à une perte complète du mouvement et de la sensibilité.

Très-souvent, l'urination est rendue difficile et tout à fait impossible, en telle sorte qu'il faut les sonder : l'urine est souvent sanguinolente. La respiration n'est pas troublée ; la fièvre se montre rarement et elle amène une terminaison fatale. La mort survient dans un état comateux, avec délire, hoquet, respiration stertoreuse et crampes musculaires ; les pupilles sont vers la fin dilatées. . . . . . .

Parmi les malades observés, quelques-uns seulement guérirent dans le cours de la première semaine ; d'autres restèrent un mois en traitement ; quatre moururent. Chez les paralytiques, on trouve des hyperémies des méninges cérébrales et médullaires, de l'œdème de l'arachnoïde, des ramollissements du cerveau et de la moelle sans localisation déterminée. Dans un cas, le ramollissement occupait les

[1] *Pathological effects upon the brain and spinal cord of men exposed to the action of a largely increased atmospheric pressure. — St Louis, Med. and Surg. journ.*, mai 1870. — *Ext.* in *Canstatt's Jahr.*, t. I, p. 178, 1870.

cornes antérieures et le cordon latéral sur toute la longueur de la moelle. Baumgarten trouva dans ce foyer d'abondantes cellules de la névroglie atteintes de dégénérescence graisseuse.

Les mêmes faits ont été relatés par M. l'ingénieur en chef des ponts et chaussées, Malézieux[1], dans son beau rapport de mission sur les travaux publics des États-Unis d'Amérique en 1870. Il reproduit textuellement (p. 91-93) le passage du rapport de l'ingénieur Eads, que nous avons cité plus haut.

M. Malézieux a également donné des détails sur la fondation du pont qui devait relier New-York à Brooklyn. Lors de sa visite, on en était seulement au début des travaux. Mais les projets étaient gigantesques ; le caisson de fond avait 52^{m},46 de longueur, sur 31^{m},11 de largeur, soit plus de 16 ares de superficie.

Dans un second Mémoire[2], M. Malézieux nous donne la profondeur définitivement atteinte. La pile de Brooklyn fut fondée par 15^{m} ; celle de New-York, par 24^{m}.

Pour cette dernière, on avait installé un chauffage à la vapeur dans chacune des écluses à air, afin de prévenir le refroidissement que produit le brusque échappement de l'air comprimé (p. 385).

Quant aux effets physiologiques, M. Malézieux déclare :

Qu'il a peu de chose à ajouter à ce qu'il a rapporté ailleurs sur le pont de Saint-Louis. M. Rœbling (c'est l'ingénieur-constructeur) signale pourtant ce fait, que le jeu des poumons se modifie involontairement dans l'air comprimé; le nombre de fois qu'on respire dans un temps donné se réduit de 30 à 50 p. 100 ; ce qui indiquerait que l'organisme réagit contre l'introduction de l'oxygène à dose deux ou trois fois plus considérable que dans l'atmosphère normale.

La conséquence naturelle à tirer de cette observation, est bien celle que M. Eads avait formulée à Saint-Louis : abréger la durée du travail dans l'air comprimé à mesure que la pression augmente. (P. 395.)

Je citerai, en terminant, quelques renseignements que je dois à l'obligeance des administrateurs d'une grande compagnie industrielle, qui s'est beaucoup occupée de la fondation des ponts par l'air comprimé. Ces documents ont rapport à des travaux tout récents, exécutés hors de France; une discrétion dont chacun comprendra les motifs m'empêche de donner avec plus de précision les détails de date et de lieu.

Voici d'abord des indications générales sur la manière dont étaient

[1] *Travaux publics des États-Unis d'Amérique en* 1870. — Paris, 1873.

[2] *Fondations à l'air comprimé. — Ann. des Ponts et Chaussées*, 1874, 1er sem., p. 329-401.

conduits les travaux, et dont sont survenus les accidents; elles émanent du directeur du chantier lui-même :

1° A une profondeur de 20 à 22^m, on faisait encore des postes de 8 heures, et nos hommes n'étaient pas trop fatigués, aucun ne souffrait de la pression, ils étaient seulement incommodés par la mauvaise odeur des vases et par l'air chaud, que cependant nous avons soin de renouveler assez fréquemment par la colonne d'ascension; sous cette pression de deux atmosphères, les ouvriers se décomprimaient en 4 ou 5 minutes.

2° De 22 à 25 mètres, on a fait des postes d'une durée de 4 heures; sous cette pression, les hommes ont commencé d'être atteints assez fort; la décompression s'opérait en 10 minutes, l'orifice du robinet de sortie n'était que de 25 millimètres, puis ensuite de 18 millimètres.

3° De 25 à 28 mètres, les ouvriers se relevaient toutes les 3 heures, pour se décomprimer, au moyen d'un robinet dont l'orifice était réduit à 10^{mm}; il fallait 16 à 17 minutes, et c'est en travaillant sous cette pression que nos hommes ont été le plus fatigués; très-souvent il est arrivé que 4 sur 7 se sont trouvés pris par la pression dans les jambes, dans la tête, dans l'estomac ; à d'autres, la décompression leur causait une paralysie de la vessie ou de la vue; plusieurs de ces ouvriers ont éprouvé des souffrances horribles pendant deux ou trois jours et ensuite trois ou quatre jours de convalescence avant de pouvoir reprendre leur travail; ce sont ceux-là qui sont le plus fortement atteints; quant à ceux qui sont moins atteints, ils éprouvent aussi de fortes douleurs pendant vingt-quatre heures et ensuite 1 ou 2 jours d'incapacité de travail. (22 juillet 1875.)

— Comme suite à ma lettre du 22, je vous informe que depuis quatre jours nous n'avons eu que deux ouvriers atteints de la pression; mais légèrement, assez cependant pour les empêcher de travailler, nous avons encore à l'hospice 2 ouvriers fortement atteints de pression depuis le 21 à la sortie du poste de 6 heures du soir ; ils sont paralysés dans les parties inférieures du corps, on est obligé de les sonder pour les faire uriner.

L'éclusage dure en moyenne 18 minutes, les postes sont de 3 heures. (28 juillet.)

— Comme suite à ma lettre du 28 courant, je viens vous informer que l'un des deux ouvriers fonceurs à l'hôpital pour la pression, le nommé R. est mort aujourd'hui à midi et demi. Le deuxième ouvrier est, de l'avis des médecins, hors de danger; il n'a plus en ce moment que les deux jambes paralysées, ce qui, on l'espère, disparaîtra d'ici peu de temps.

Les médecins prétendent que la mort de R. est due à la pression, qui aurait attaqué la moelle épinière; cet homme avait déjà travaillé aux fonçages à l'air comprimé, mais sans jamais dépasser 2 atmosphères 1 ou 2/10. (30 juillet.)

Le premier des deux ouvriers gravement atteints dont il vient d'être question est retourné dans son pays ; on n'a plus eu de renseignements sur lui.

Quant au sieur R., son autopsie fut faite. Elle a donné un remarquable résultat que le Dr L. décrit dans une lettre adressée à la compagnie, et dont voici la traduction :

Après l'ouverture du canal spinal, j'ai trouvé à la hauteur des vertèbres de la poitrine, la moelle épinière tout à fait ramollie; elle était sur une étendue de quel-

ques pouces transformée en une masse molle et coulante, d'une couleur jaune gris, qui en montant et descendant se perdait dans la partie saine.

La moelle était en général surchargée de sang, ainsi que le cerveau, mais du reste je n'y ai rien observé d'anormal, pas plus que dans les autres organes.

§ 3. — Plongeurs à scaphandre.

Ainsi que nous l'avons dit en commençant ce chapitre, la cloche à plongeur a été entièrement abandonnée pour le scaphandre, appareil infiniment plus simple, moins coûteux, et qui permet à chaque ouvrier de travailler isolément avec une certaine liberté.

Je n'ai nullement l'intention de remonter aux origines, cependant fort récentes, de cette invention ; le mot lui-même (σκάφος, bateau, ἀνδρός homme) date de la fin du siècle dernier, et s'appliquait à une simple ceinture de sauvetage. Ce n'est guère que depuis cinquante ans que Siebe, de Londres, puis M. Cabirol, et enfin MM. Rouquayrol et Denayrouze, en ont fait un appareil pratique et facile à employer pour les pêches des huîtres, du corail, des perles, des éponges, le sauvetage des objets submergés, le nettoyage et l'inspection des carènes de navires, etc...

Je ne puis cependant m'empêcher de dire un mot d'une invention singulière de Borelli, qui n'était pas sans rapport avec le scaphandre, et qui est intéressante pour l'histoire des théories de la respiration ; j'emprunte la description de cet appareil fort mal conçu, puisqu'on n'y renouvelait pas la provision d'air du plongeur, à Brizé-Fradin qui le cite, sans indiquer où le célèbre iatro-mathématicien a décrit son appareil. Il s'exprime en ces termes :

Borelly, inventeur de la machine appelée *vessie du plongeur*, la préfère, on ne sait trop pourquoi, à la cloche de Halley. C'est un globe d'airain ou de cuivre d'environ deux pieds de diamètre, placé au-dessus de la tête du plongeur ; il est joint à un habit de peau de chèvre fait à la mesure du plongeur. Dans ce globe sont des tuyaux par lesquels on y entretient la circulation de l'air, le plongeur porte à son côté une pompe à air au moyen de laquelle il peut se rendre plus pesant ou plus léger, comme font les poissons en pressant ou dilatant leur vessie à air : de cette manière il croit prévenir toutes les objections faites à l'égard des autres machines, et particulièrement à celle relative au manque d'air, l'air qu'il a respiré étant, selon lui, dépourvu de ses qualités nuisibles par la circulation dans les tuyaux, (P. 44.)

Rappelons que dans la cloche à plongeur de Halley un individu pouvait faire quelques pas hors de la cloche et continuer à respirer

à l'aide d'une sorte de coiffe et d'un tuyau aboutissant dans l'air de la cloche; il était à peu près ainsi dans les conditions du scaphandre moderne. La partie principale des appareils actuels (fig. 7) consiste en un lourd casque de métal, percé de hublots



Fig. 7. — Scaphandrier pourvu du régulateur Denayrouze, costume complet.

de verre, dont le plongeur charge sa tête; un tuyau qui communique avec une pompe foulante placée sur le ivage ou sur le pont du bateau lui envoie de l'air comprimé qui s'échappe par des orifices ménagés dans ce but. La pression à laquelle est soumis l'air que le plongeur respire est donc sensiblement égale à celle que

l'eau exerce sur le reste de son corps. Cette condition est indispensable à remplir, comme nous le verrons dans la suite de cet ouvrage, et des accidents très-graves ont dû être la conséquence de l'oubli, dans certaines circonstances, de cette règle fondamentale.

Or elle est scrupuleusement respectée par l'appareil de MM. Rouquayrol et Denayrouze. Le plongeur revêtu de leur scaphandre ne respire pas directement l'air que lui envoie la pompe; sur son dos se trouve un réservoir métallique où l'air comprimé est incessamment emmagasiné, pour n'en sortir, grâce à un très-ingénieux mécanisme, que suivant les besoins du plongeur et à la pression rigoureusement nécessaire sous la profondeur atteinte. Quand le réservoir est plein, le plongeur peut détacher le tuyau qui va à la pompe, et se mouvoir librement pendant un certain temps. Enfin, il peut même, pour les travaux de peu de durée, supprimer le casque et prendre directement à la bouche le tuyau qui vient du régulateur (fig. 8).

Pour revenir à la surface, les plongeurs tantôt remontent une échelle de corde, tantôt se font hisser à bord au moyen d'une corde attachée à la ceinture. Dans l'un et l'autre cas, ils ne mettent guère que une ou deux minutes pour retrouver la pression normale.

Les scaphandres sont actuellement employés très-fréquemment dans tous nos ports de mer; mais les profondeurs atteintes sont généralement assez faibles, et ne dépassent guère 20^{m}. On s'en sert également beaucoup dans les mers de l'Archipel, pour la pêche des éponges. Ici, les fonds atteints vont jusqu'à 40^{m}; je tiens même de M. Denayrouze qu'on a été à 48^{m} ; la pression totale était donc dans ce cas de 5 atmosphères,8.

Enfin, selon M. Leroy de Méricourt, les plongeurs à scaphandres aux ordres des compagnies anglaises auraient affronté la profondeur de 54^{m}, la pression étant ainsi de 6 atmosphères, 4.

Ce n'est pas impunément que de pareilles pressions ont été supportées, ou pour parler plus exactement, ce n'est pas impunément que des plongeurs sont revenus de pareilles profondeurs, en quelques minutes, à la surface de l'eau. Des accidents nombreux ont été signalés, dont beaucoup se sont terminés par la mort. Leur fréquence et leur gravité sont telles, que les récits qui nous en ont donné connaissance semblent dédaigner et passer sous silence tout ce qui n'est pas paralysie ou mort. Cependant, les bénéfices financiers sont si considérables, que l'emploi des scaphandres va en augmentant chaque année. Ils sont introduits depuis une douzaine

d'années seulement dans l'Archipel, où leur apparition a occasionné de véritables émeutes en 1866 ; or, en 1867 déjà, une vingtaine de machines fonctionnaient pour la pêche des éponges. Il m'a été



Fig. 8. — Scaphandrier pourvu du régulateur Denayrouze, ayant ôté son masque.

affirmé qu'il en existe aujourd'hui plus de trois cents, — et que les cas de mort s'élèvent à une trentaine par an !

Le premier document qui nous ait fait connaître ces accidents redoutables et curieux est dû à M. Leroy de Méricourt[1], et porte la

[1] *Considérations sur l'hygiène des pêcheurs d'éponges. — Ann. d'hygiène publique et de médecine légale,* 2e série, t. XXXI, p. 274-286, 1869.

date de 1869. Cet article est rédigé, dit l'auteur, sur les renseignements contenus dans un mémoire manuscrit de M. Aublé, agent de la *Société pour la pêche des éponges au moyen des appareils plongeurs Rouquayrol et Denayrouze :*

Pendant la campagne de 1867, il n'est survenu aucun accident sérieux parmi les hommes qui ont pêché munis de cet appareil. Mais à la même époque, sur 24 hommes qui se servaient de 12 scaphandres de fabrication anglaise, 10 succombèrent.

L'absence de médecins sur les lieux de pêche et la difficulté d'obtenir des renseignements de la part des pêcheurs de l'Archipel, qui sont d'un naturel fort défiant, n'ont pas permis d'être fixé, comme il eût été à désirer, sur la nature des phénomènes qui ont précédé la mort des 10 hommes dont nous venons de parler. On a pu savoir seulement que trois d'entre eux étaient morts subitement en quittant le travail sous-marin, et que les autres avaient langui de un à trois mois, paralysés des membres inférieurs et de la vessie. En raison de l'existence de la paraplégie chez les 7 plongeurs qui ont survécu quelque temps, il est permis de supposer, jusqu'à un certain point, que ce phénomène devait également exister chez les 3 qui ont succombé rapidement.

Quelles sont les lésions qui ont amené la mort de ces malheureux pêcheurs pendant la campagne de 1867, et comment peut-on expliquer le mécanisme de leur production ? L'absence d'observations médicales et surtout d'autopsies ne nous permet d'émettre une opinion à ce sujet qu'avec beaucoup de réserve. La paraplégie est, il est vrai, un phénomène tellement caractéristique et apparent, qu'il n'est pas besoin d'être médecin pour le constater. Chez une des victimes, jeune Grec très-hardi plongeur, il survint une telle distension de la vessie que le père, dans l'espoir de soulager ce malheureux, essaya de le sonder ; il détermina des désordres qui furent suivis d'une péritonite rapidement mortelle.

Nous verrons, au chapitre III, l'explication que M. Leroy de Méricourt propose de ces accidents, qu'il attribue à des hémorrhagies médullaires.

Le reste de la note est consacré à de très-justes remarques sur la supériorité de l'appareil Denayrouze et la nécessité d'une décompression lente :

Tandis que le groupe de plongeurs parmi lesquels les accidents sont survenus atteignaient les profondeurs considérables de 45 à 54 mètres et supportaient, par conséquent, une des pressions variant de 5 atm. 1/2 à 6 atm. 4/10, M. Denayrouze, avec une prudence qui lui fait honneur, avait donné l'ordre de ne pas dépasser 35 mètres, de ne pas séjourner plus de 2 heures 30 minutes, par plongeur et par jour, et enfin de remonter très-lentement en mettant une minute par mètre de profondeur. De plus, l'appareil employé offre de meilleures garanties que le scaphandre : l'air est débité proportionnellement aux besoins de la respiration, et à une pression mathématiquement égale à celle du milieu ambiant.

Mais il n'a pas été possible de faire observer par les Grecs ces

précautions rigoureuses. La décompression à laquelle M. Denayrouze avait assigné une durée de 15 minutes, a recommencé à se faire en une ou deux minutes. Aussi les accidents ont-ils reparu. Une lettre particulière de M. Denayrouze, en date du 9 juillet 1872, me donne sur ce point les renseignements suivants :

J'ai fait, pendant 6 mois, plonger une centaine d'hommes à des profondeurs variant de 30 à 40 mètres. 200 autres plongeurs étrangers travaillaient sous mes yeux dans les mêmes conditions. Tous ces gens-là respiraient de l'air à la pression du milieu ambiant, soit à 4 ou 5 atmosphères.

Cinq hommes sont morts à ces pressions, un grand nombre d'autres ont été atteints de diverses affections, dont les plus fréquentes ont été des paralysies des membres inférieurs et de la vessie, des surdités et enfin des anémies.

Les hommes soumis à des décompressions brusques étaient en effet plus exposés aux accidents que les autres. Ceux qui sont morts n'ont jamais expiré au fond de l'eau, ils remontaient se plaignant de douleurs internes, au cœur en particulier, se couchaient dans leur barque et s'éteignaient au bout de quelques heures.

Le 19 juillet 1872, un jeune médecin qui avait fait en 1868 une campagne à bord d'un bateau destiné à la pêche des éponges, sur les côtes de la Turquie, Alphonse Gal [1], soutenait devant la Faculté de Montpellier une thèse fort intéressante sur les faits qu'il avait observés.

Dans la première partie de son travail, il étudie les modifications qu'apporte le séjour dans l'air comprimé aux fonctions physiologiques. Je ne rapporte naturellement que la part d'observations qui lui est personnelle.

En parlant d'abord de la respiration, il dit :

Il est impossible dans un scaphandre de se servir du spiromètre ; et il est assez difficile d'apprécier des sensations de l'ordre de celles que nous étudions. Pourtant, à des pressions variables depuis 15 jusqu'à 25 mètres, je me suis étudié au point de vue des mouvements respiratoires, et je crois à une dilatation moins grande qu'à l'état normal. Sans doute la capacité pulmonaire, ce que M. Bucquoy appelle la capacité vitale, augmente, dans les inspirations où l'on demande aux poumons toute leur puissance ; sans doute, quand on fait l'expérience et qu'on cherche à produire l'ampliation la plus étendue, les résultats sont plus avantageux dans l'air comprimé ; sans doute aussi le malade soumis au bain d'air, éprouvant rapidement une sensation de bien-être due à la perfection plus grande de l'hématose, fait instinctivement de grandes inspirations ; mais le plongeur, soumis à une pression de 2, 3 et 4 atmosphères, n'éprouve nullement la nécessité d'agrandir sa cavité pulmonaire, et comme Foleÿ, je crois à l'intervention des centres nerveux pour modérer l'étendue de l'inspiration, étendue devenue inu-

[1] *Des dangers du travail dans l'air comprimé et des moyens de les prévenir.* — Thèses de Montpellier, 1872.

tile en raison de la quantité plus considérable d'oxygène mise en rapport avec les capillaires du réseau pulmonaire sous un volume simplement égal au volume normal.

Ainsi en résumé pour les inspirations forcées, le développement pulmonaire croît avec la pression atmosphérique ; mais pour les inspirations ordinaires surtout chez l'homme sain, cette loi n'est plus exacte, car on observe plutôt, tout au moins j'ai cru le constater, surtout aux pressions de 2 à 3 atmosphères, on observe plutôt, dis-je, une diminution dans l'ampliation pulmonaire. (P. 17.)

Relativement au nombre des mouvements respiratoires :

J'ai pu, pour mon compte, faire à ce sujet un nombre considérable d'observations ; quand un plongeur se trouvait au fond de l'eau, à une petite distance du bâtiment et que la mer était calme, je voyais parfaitement arriver à la surface les bulles d'air de chaque respiration. Comme on a pu le voir dans la description du sac à air régulateur, le plongeur avec scaphandre Denayrouze respire par la bouche de l'air contenu dans un réservoir, et il expire encore par la bouche. L'air ainsi expiré s'échappe par une soupape qui se referme aussitôt après l'expiration. On peut donc ainsi mesurer l'espace qui sépare deux actes respiratoires, et le plongeur pendant ce temps se trouve dans les conditions normales de travail et ne sait pas qu'il est observé. J'ai pu remarquer ainsi les différences individuelles, mais dans de très-faibles limites. Le minimum des respirations a été de 12 ; le maximum de 30 ; mais il ne faut pas croire que la moyenne soit le nombre intermédiaire à ces deux chiffres. Sur toutes les observations que j'ai prises, elle est de 18, mais elle est trop élevée et ne peut donner le chiffre normal des inspirations dans l'air comprimé. En effet, toutes les fois que j'ai constaté chez un plongeur un nombre de respirations plus élevé que 20, je suis sûr que cette accélération respiratoire tenait à une cause fortuite (émotion, effort musculaire, marche rapide, etc.). Dans bien des cas, en suivant la respiration du plongeur pendant quelques minutes, je l'ai vue peu à peu redescendre et arriver au-dessous de 20.

En résumé, les modifications physiologiques de l'appareil respiratoire portent sur l'étendue et le rhythme des mouvements. Ajoutons à ce que nous avons dit à ce sujet que la respiration est toujours très-facile dans l'air comprimé. Nous sommes en ceci d'accord avec tous ceux qui ont expérimenté dans de bonnes conditions de ventilation. Sous l'eau, quelle que soit la profondeur, on respire facilement et librement. (P. 19.). . . . .

Nous avons vu chez les plongeurs les mouvements respiratoires augmenter de nombre à mesure qu'ils montaient l'échelle et par suite se décomprimaient. Il faut sans doute attribuer à l'acte même de la décompression une grande partie de cette accélération, car la montée est excessivemens facile pour les plongeurs ; et grâce à l'air contenu dans leur habit, et qui se dilate à mesure que l'ascension avance, ils ont plutôt besoin de se retenir que de faire des efforts pour monter. Mais quelle que soit l'intensité de pression subie, jamais cette accélération des mouvements respiratoires ne va jusqu'à l'anhélation. (P. 21.)

Passons à la circulation :

Dans les scaphandres, on ne peut faire à ce sujet que des observations peu exactes ; le pouls est très-difficile à percevoir et on n'a pas de moyen de mesurer avec précision le temps employé à l'observation. J'ai pourtant essayé de me rendre

compte du rhythme de ma circulation et je ne crois pas que sa vitesse ait jamais diminué.

Nous pouvons dire, sans chercher à l'expliquer, que dans l'air comprimé, aux pressions employées par les pêcheurs d'éponges, le rhythme de la circulation ne paraît pas modifié.

Il n'en est pas de même de l'amplitude des pulsations : pour ceci tous les expérimentateurs, Junod seul excepté, sont d'accord. Ils admettent tous que dans l'air comprimé le pouls devient filiforme et quelquelquefois insaisissable. . . . .

Évidemment les capillaires artificiels et les artères les plus rapprochées de la peau subissent davantage l'influence de la pression extérieure et leur calibre diminue. Si l'on entre dans l'air comprimé avec une partie de muqueuse on de tégument externe congestionnée, l'injection ne tarde pas à disparaître. Dans le scaphandre, malgré les bracelets en caoutchouc qui serrent fortement le poignet, la main est décolorée. Mais si la quantité du sang diminue à la périphérie, les organes qui par leur position sont moins directement soumis à l'action de l'air comprimé ont une circulation plus abondante. Le poumon se trouvant dans les mêmes conditions que la peau, doit recevoir moins de sang qu'à l'état normal. (P. 22-23.)

Si on revient d'une pression plus forte à la pression normale, les battements s'accélèrent, le pouls qui était filiforme reprend de son ampleur, et si la différence des pressions a été considérable, on observe quelquefois des hémorragies légères.

L'unanimité des auteurs sur cette question est parfaite. Nous n'avons pas pu suivre les modifications de la circulation pendant l'acte même de la décompression ; mais nous avons constaté par un grand nombre d'observations qu'au moment de l'arrivée sur le pont le pouls des plongeurs battait presque toujours plus de 80 fois par minute. Sur 240 observations nous l'avons trouvé :

Au-dessous de	80	pulsations	11 fois.
—	80 à 90	—	103 —
—	90 à 100	—	124 —
—	100 à 109	—	2 —

Une demi-heure après, 203 fois, le pouls était revenu à peu près à la normale ; 3 fois, il était tombé manifestement au-dessous et 34 fois, il était encore entre 75 et 80 pulsations.

Ici, comme pour la respiration, nous ne pouvons attribuer l'accélèration du rhythme à l'acte même de la montée. Nous l'avons dit, la fatigue musculaire est à peu près nulle à cause de la dilatation de l'air dans l'habit et de la lenteur avec laquelle on s'élève. (P. 24.)

Les sécrétions lui fournissent les observations suivantes :

Tous les auteurs, sauf MM. Foleÿ et François, constatent une sécrétion plus considérable d'urine ; je crois que cette opinion est la vraie. Les plongeurs que j'ai observés ne pouvaient rester plus d'une heure et demie soumis à une pression de 20 mètres d'eau sans que le besoin de la miction se fît sentir ; quelquefois même, il leur arrivait d'uriner dans leurs habits. L'augmentation de la sécrétion salivaire n'est notée que par MM. Eugène Bertin et Junod ; pour moi, je ne puis, à cet égard, avoir une opinion : chez tous les plongeurs français et chez moi-même la sécrétion salivaire était plus abondante qu'à l'état normal ; mais la présence dans la bouche d'un appareil de caoutchouc destiné à l'arrivée de l'air rend parfaitement compte de ce phénomène.

Après cette série d'observations d'ordre purement physiologique, M. Gal arrive à l'étude *des dangers des fortes pressions*. Il divise les maladies qu'on peut attribuer à l'effet de l'air comprimé en deux catégories : les maladies *à début brusque*, qui ne surviennent jamais, quand le plongeur est dans l'air comprimé, et sont le fait de la décompression ; les maladies *à début insidieux*, qui doivent être directement rattachées à l'action de l'air comprimé.

Maladies à début brusque. — Au premier rang M. Gal place *les puces* :

Cette maladie disparaît sans aucun traitement et se termine lorsque intervient une hypersécrétion sudorale. (Foley, p. 33.) Est-ce donc parce que nos plongeurs étaient toujours couverts de sueur lorsqu'ils arrivaient sur le pont que je n'ai jamais eu l'occasion de l'observer ? Cela me paraît infiniment probable. (P. 33.)

Viennent ensuite les douleurs musculaires, les arthrites :

Parmi toutes ces affections, j'ai vu seulement des douleurs excessivement vives survenant brusquement, et bientôt après la sortie de l'air comprimé ; affectant plus spécialement les parties du corps où l'effort musculaire a été le plus soutenu, le deltoïde gauche en général chez les plongeurs ; presque toujours un peu de gonflement de la partie affectée, mais sans aucune rougeur. Jamais ces douleurs n'ont duré plus de deux jours, et le plus souvent elles disparaissaient au bout de quelques heures.

Tous les plongeurs, sauf les nommés Thépot et Paugarn, les ont éprouvées à plusieurs reprises.

Je n'ai pas cité d'observations à ce sujet, parce que ces affections, toujours légères, ne m'ont jamais rien représenté d'anormal, soit dans leur marche, soit dans leur terminaison. Des frictions avec le baume tranquille ou l'application d'un cataplasme laudanisé les ont toujours fait disparaître.

Puis les otalgies et otites, dont M. Gal cite quelques exemples, des troubles gastriques, dont la cause est peut-être dans les centres nerveux. Un cas d'hémorragie a été observé, qui présente cette circonstance rare d'avoir débuté pendant la compression même :

Le 15 décembre, le nommé Féroc, 28 ans, plongeur exercé au scaphandre, descend par une profondeur de 4 à 15 ^{m}, reste trois quarts d'heure au fond et remonte avec une hémorragie nasale qui a débuté, pendant qu'il était soumis à la pression. La face est légèrement vultueuse, le pouls à 70. C'est, me dit-il, la troisième hémorragie nasale qu'il subit, et toujours elle a commencé au fond. Comme les précédentes, elle cesse sans aucun remède.

Le 12 janvier, ce même plongeur redescend pour la première fois depuis le 15 décembre, par 20^{m} de profondeur. Nouvelle hémorragie dans les mêmes conditions ; seulement le pouls est à 90, un quart d'heure après la montée, et une heure après il est faible, dépressible, et à 70. En même temps céphalalgie intense.

Friction excitante ; repos. Le lendemain, il va tout à fait bien (P. 41.)

En fait d'accidents graves, M. Gal n'a observé qu'une paraplégie, qui, fait fort intéressant, a débuté seulement vingt-quatre heures après la décompression. Voici l'observation complète :

Quidelleur, 28 ans, ivrogne. Le 18 janvier 1869, descente par 28^m de profondeur.

Une heure de séjour au fond, il remonte sourd d'une oreille ; c'est son premier accident, il ne souffre pas et éprouve seulement du bourdonnement, accompagné de surdité de l'oreille gauche.

Le 19 janvier, il plonge par 16^m de profondeur, termine son quart de une heure et demie, et me dit en remontant que sa surdité s'est dissipée au fond.

Le 20 janvier, descente par 28^m de profondeur. Ce jour-là, pendant que quatre plongeurs se trouvaient à la mer, et parmi eux Quidelleur, le navire fait un tour complet autour de son ancre, et cet accident a pour résultat d'enrouler autour de la chaîne du navire les quatre tuyaux d'envoi d'air et les quatre cordes des plongeurs.

Il s'ensuit un moment de confusion, pendant lequel les signaux ne peuvent plus être perçus ; et, au moment où Quidelleur arrive sur le pont, il se plaint d'avoir été, à trois reprises différentes, soulevé du fond à une hauteur de 10^m à peu près, et, à chaque fois, il est retombé brusquement, au grand détriment de ses oreilles. En somme, il est resté pendant une heure à une pression réelle de 3 atmosphères 8 dixièmes ; et il ne se plaint que de douleurs dans les oreilles et surtout la gauche.

Je le fais frictionner avec de la flanelle sèche, comme cela se faisait toujours après une descente de plus de 20^m, et je ne remarque chez lui rien d'anormal.

Pendant la journée du 21 janvier, la pêche est interrompue, et Quidelleur travaille comme les autres matelots à divers travaux du bord. Le soir à cinq heures, il vient me conduire à terre, et je remarque un peu d'altération sur sa figure ; sur ma demande, il m'assure qu'il ne souffre pas, sauf un peu de l'oreille gauche. Une heure après, on vient me chercher ; il se plaint de douleurs violentes, sans siége précis, s'étendant à tout le corps. J'ai beaucoup de peine à le faire parler, mais son attitude me fait comprendre que le maximum de la douleur se trouve dans l'abdomen. Le malade est fortement replié sur lui-même, tous les membres dans la flexion et appuyés sur le plan antérieur du corps. Les douleurs sont assez fortes pour le faire pleurer ; il finit par me dire qu'il souffre comme si on lui arrachait le ventre et la poitrine. Je ne constate aucun gonflement, aucune rougeur de la peau. Le pouls est à 70 pulsations ; il est fortement déprimé. La respiration un peu fréquente est saccadée. . . . .

A onze heures du matin (22 janvier), on vient me dire que le malade se plaint de nouveau de ne pouvoir uriner ; je constate, en effet, la présence de liquide dans la vessie et, mis en éveil par cet accident, je recherche s'il y a lésion de la sensibilité et de la motilité. L'une et l'autre sont affaiblies dans les membres inférieurs, sans pourtant qu'elles soient tout à fait abolies. La verge est dans une demi-érection. L'introduction d'une sonde dans la vessie donne issue à un demi-litre d'urine. Celle-ci coule lentement ; la contraction musculaire n'y est pour rien ; il y a bien paralysie de la vessie. Le pouls est tout à fait normal, les douleurs de la veille ont disparu, la respiration est bonne.

Friction sur la colonne vertébrale et sur les membres inférieurs, avec le baume Opodeldoch. Tisane de sureau.

23 janvier. Le malade, moins courbaturé, essaye de se lever, mais ses jambes

ne peuvent le supporter, quoique, lorsqu'il est dans le hamac, il puisse les remuer comme la veille; affaiblissement de la sensibilité.

Pouls à 70, plutôt dépressible que fort. Respiration normale, pas de douleurs ; l'ouïe qui la veille était encore un peu faible à gauche, est revenue à son état normal.

Je fais promener des sinapismes sur ses membres inférieurs et le long de la colonne vertébrale. Tisane de sureau. Cathétérismes le matin. Potages.

Le soir, la paralysie a cessé ; le malade urine facilement. Rien de nouveau dans son état; depuis le jour de l'accident, c'est-à-dire le 20 janvier, il n'a pas eu de selles.

24 janvier. Même état des jambes ; pouls et respirations normaux. Pas de selles. Le malade désire manger. . . . .

27 janvier. Légère amélioration, mouvements des membres inférieurs un peu plus faciles, sans qu'il y ait beaucoup de force. . . . .

Depuis ce jour jusqu'au 30 janvier, l'amélioration a marché avec une grande lenteur; puis brusquement, le 1er février, le malade monte sur le pont, et c'est à peine si dans sa démarche on peut s'apercevoir qu'il a été paralysé des membres inférieurs.

Pendant les jours suivants, le mieux se maintient; seul, le rectum est encore paralysé. On ne peut obtenir que des lavements purgatifs.

Le malade a été très-indocile, tout le temps qu'à duré sa maladie; j'ai pu constater qu'il est d'un caractère extrêmement faible, et qu'il se laisse très-facilement abattre par la souffrance.

J'aurais voulu le purger dès le premier jour ; mais malgré toutes mes représentations, il n'a pas voulu y consentir.

Jusqu'au 5 février, il n'est pas allé à la selle et il souffre beaucoup de sa constipation. Je lui administre, sans qu'il s'en doute, quatre-vingts centigrammes de calomel dans du lait; cette purge amène une débâcle qui est le signal de son complet rétablissement. A partir de ce jour, le rectum reprend ses fonctions normales, et la santé de ce plongeur est très-florissante.

M. Gal donne encore trois observations du même ordre, dont il a pu recueillir lui-même les éléments, quoiqu'il n'ait pas vu les malades au moment de l'accident. Dans le premier cas, la mort est survenue par suite de l'ignorance du médecin :

Le 5 août 1869, le nommé Nicolas Théodoros fut pris de paralysie des membres inférieurs.

Ce plongeur pêchait sur les côtes de la Crète depuis le commencement de mai c'est-à-dire depuis trois mois. C'était un homme de grande taille et en même temps d'une corpulence énorme, due surtout au développement très-considérable du tissu adipeux.

Le 5 août, il pêchait aux environs de Sitia et, depuis huit jours, il affrontait des profondeurs de vingt brasses et plus, c'est-à-dire de 30 à 35m. Aucun accident fâcheux, aucune douleur n'était venue l'avertir, lorsque le 5 août, un quart d'heure après être remonté d'une profondeur de 37m, il fut pris de paralysie complète des membres inférieurs.

J'ai pu savoir par les Grecs qui montaient le même bateau, qu'il était resté au fond plus d'une demi-heure, qu'il s'était, selon la mauvaise habitude des Grecs, fait hisser, et que, par suite, la décompression avait été très-rapide.

Il avait quitté ses vêtements de plongeur, et allait se reposer sous le pont de son caïque, lorsque la maladie débuta insidieusement par un malaise général, et bientôt il s'aperçut qu'il ne pouvait plus remuer ses jambes, et qu'elles étaient complétement insensibles.

Malheureusement, je me trouvais en ce moment à la Canée, c'est-à-dire à plus de cent milles de l'endroit où se trouvait ce malheureux plongeur. Sa barque vint au point le plus rapproché, où l'on espérait trouver du secours; ce fut à Sitia. Il n'y avait là qu'un médecin italien complétement ignorant des accidents qui peuvent arriver aux plongeurs.

Ne trouvant pas de fièvre, pas de douleur, il ne sut à quoi attribuer la maladie et resta complétement inactif. Le certificat de décès qu'il délivra aux camarades du plongeur porte seulement qu'il est mort : *Da stranguria et costipazione ventrale.*

Quoique ces mots indiquent qu'il avait reconnu l'impossibilité où se trouvait le plongeur d'uriner et l'absence des selles, il ne s'occupa pas du tout de la première indication, ne sonda pas le malade, et se contenta de lui donner une purge; encore ne le fit-il que le huitième jour de la maladie, la veille de la mort.

La paralysie, qui avait été indolore au commencement, ne tarda pas à s'accompagner des symptômes ordinaires à la paralysie de la vessie et du rectum, quand on ne vide pas la première, et qu'on n'entretient pas la liberté du ventre.

Quand j'arrivais à Sitia, le 16 août, le malade était mort depuis deux jours après des souffrances atroces, siégeant dans l'abdomen, et accompagnées d'augmentation considérable du volume de cette partie du corps. Les renseignements que m'ont fournis ses camarades étaient assez récents, et je suis convaincu que Théodoros n'a succombé à la paraplégie que par défaut de soins. On verra par les observations que je vais citer que, lorsque la paralysie n'atteint que les membres inférieurs, la guérison est assez fréquente, ou tout au moins, si les individus atteints conservent la paralysie des membres, ils ne meurent pas, ou tout au moins ne meurent qu'au bout de plusieurs mois. (P. 48.)

Dans les deux autres cas, la paraplégie s'est à moitié guérie :

J'ai vu à Symi deux plongeurs, Foti Kazi Foti et Yanni, qui, pendant la campagne de 1867, ont été tous deux paralysés complétement de toute la partie inférieure du corps. Ils revinrent aussitôt l'un et l'autre à Symi, où ils furent soignés par un docteur qui avait fait ses études médicales à Paris, M. Migliorati. J'ai eu l'occasion de causer avec ce dernier; malheureusement il était fort malade, dans la période ultime d'une tuberculisation pulmonaire, et il ne put me donner que peu de renseignements.

Les deux plongeurs sont restés trois mois sans pouvoir se servir de leurs membres inférieurs ; peu à peu, pourtant, il leur a été possible de faire quelques mouvements; la paralysie de la vessie et du rectum a disparu la première. M. Migliorati a épuisé sur eux toutes les ressources de la thérapeutique : frictions, vésicatoires, ventouses scarifiées, teinture de noix vomique, soit en frictions. soit à l'intérieur, etc. Il n'a pourtant pas essayé la cautérisation et la faradisation.

Au moment où je les vois, je constate que la lésion paralytique des membres inférieurs persiste toujours; il y a plus d'un an qu'ils ont été frappés. Pourtant la marche est possible, à condition qu'ils s'aideront de deux bâtons, mais ils n'ont pas besoin de béquilles. On voit qu'ils ne soulèvent les jambes qu'avec peine, et ils ne le font qu'autant que c'est rigoureusement nécessaire.

J'interroge la sensibilité, et je trouve un affaiblissement marqué et, des deux côtés, de la sensibilité tactile, de la sensibilité à la chaleur et au froid, de la sensibilité à la douleur.

Tous les autres appareils, toutes les autres fonctions sont à l'état normal. Je constate pourtant un peu d'anémie chez Yanni, mais elle ne tient pas à la paralysie; il a eu, pendant l'année 1868, des fièvres intermittentes rebelles, guéries depuis peu de temps, quand je le vis.

Les muscles des membres inférieurs ne sont pas manifestement atrophiés. Ces deux hommes continuent à se servir du scaphandre. Ils ont repris leurs travaux, l'un au mois d'octobre 1868, l'autre au mois de mai 1869, et trouvent que la marche est plus facile dans l'eau qu'à l'air libre.

Au mois de janvier 1870, ils étaient dans le même état. (P. 50.)

Vient ensuite une série de 9 observations, dans lesquelles 2 plongeurs sont morts très-rapidement, l'un après vingt-quatre heures, l'autre après trois mois, des suites de la paraplégie. Les 5 derniers ont guéri plus ou moins complétement. Je reproduis intégralement ces observations, fort succinctes, du reste :

I. Le 23 juin 1868, à Navarin, Jorgieos Koutchouraki, descendu par une profondeur de 40 à 45^{m}, est resté un quart d'heure au fond. Selon la coutume des plongeurs grecs, il s'est fait hisser après ce temps; il est arrivé sur le pont du bateau en parfaite santé; quelques minutes après, il s'est plaint de tournoiements de tête, et il est tombé sur le pont. Perte de la parole et de l'intelligence; face rouge : mort subite.

II. Le 10 juillet 1868, dans l'Archipel grec, Manolis Couloumaris, descendu par une profondeur de vingt-cinq brasses, c'est-à-dire à peu près de 40^{m}, est resté environ trois quarts d'heure au fond. Au bout de ce temps, il a fait le signal convenu, et il a été hissé. Il était sur le pont depuis un quart d'heure à peu près, et, au dire de ses camarades, il pressait les éponges qu'il avait remontées, lorsqu'il fut brusquement saisi par de fortes douleurs, et presque aussitôt, perte de connaissance absolue. Il succomba rapidement.

III. Le 15 juin 1869, sur la côte de Bengasi, le nommé Joannis Xippas descendit par vingt brasses de fond, c'est-à-dire de 30 à 35^{m}. Ce plongeur était descendu pendant cinq jours de suite, et à plusieurs reprises chaque jour, par des profondeurs toujours supérieures à 30^{m}, et jusqu'alors il n'avait rien éprouvé de fâcheux, sauf un peu de douleur dans le bras gauche. Le 15 juin il en était à sa seconde descente, lorsque l'accident lui arriva. Remonté après un séjour de plus d'une demi-heure, il ne parut tout d'abord rien éprouver de fâcheux, et descendit sous le pont de son caïque pour se reposer. Ce ne fut qu'une heure après qu'un de ses camarades, descendant auprès de lui, le trouva sans connaissance, la figure rouge, les membres complétement inertes et couverts de sueur froide. On essaya de le réchauffer, sans pouvoir y parvenir.

On mit à la voile pour se rendre à Alexandrie, où l'on espérait trouver du secours; mais la mort arriva au bout de vingt-quatre heures. Le malade était resté tout ce temps dans l'immobilité la plus absolue. Il n'y avait pas eu de selle ni de mixtion. Ceux qui ont assisté à sa mort assurent qu'un peu avant de mourir, il aurait donné quelques signes d'intelligence et de souffrance; mais la paralysie des membres est restée complète.

IV. Le 1er juillet 1869, sur la côte de Rhodes, le nommé Nicolas Roditis, qui

plongeait à la machine depuis trois mois environ, remonta d'une profondeur de 35 à 40 mètres. Au bout d'une demi-heure, il est pris de fortes douleurs dans la région épigastrique, et en même temps s'aperçoit qu'il ne peut plus se tenir sur ses jambes. On le ramène à Rhodes, où il s'adresse d'abord à un charlatan, qui le fait mettre dans un four. Il n'est pas soulagé, comme on le pense bien ; les douleurs d'estomac persistent; la paralysie de la partie inférieure du corps était complète, et portait sur les jambes, les cuisses, la vessie et le rectum. Aux douleurs de la région épigastrique s'ajoutait la tension du ventre; il y avait trois jours qu'il n'avait pas uriné et qu'il n'avait pas eu de selles, quand il fit appeler un médecin italien, qui para au plus pressé en le sondant, et qui essaya ensuite de guérir sa paraplégie. On lui donna divers remèdes et on lui fit des frictions; mais il a été impossible de savoir au juste quel traitement on lui fit suivre.

Un mois après l'accident, il arrive à Calymnos, où le voit le docteur Pélicanos. A ce moment, il est complétement paralysé de toute la moitié inférieure du corps, aussi bien du côté de la motilité que de celui de la sensibilité. La vessie et le rectum participent à la paralysie.

De plus, il porte à la partie postérieure et inférieure du tronc une large eschare de 14 centimètres sur 15. Toutes les parties molles sont ulcérées et le sacrum est à nu. A la hauteur des deux grands trochanters, on voit aussi deux plaies; l'une a amené la destruction de la peau ; dans l'autre, l'os est à nu. Eschare au calcanéum droit. Eschare à la partie inférieure et externe du cinquième métatarsien gauche et à la plante du même pied. Douleurs atroces dans la région de l'estomac; constipation constante. Le malade est très-anémié.

On lui donne d'abord du sirop de lactate de fer, du quinquina, du vin vieux de Chypre et une alimentation aussi réparatrice que possible. On lave les plaies avec une décoction de camomille et de quinquina ; on le panse avec du vin aromatique. De temps en temps un purgatif avec l'huile de ricin ou la poudre de jalap.

Pas d'amélioration ; les eschares s'agrandissent ; une fièvre à type intermittent quotidien, à exacerbations revenant tous les soirs, se déclare. C'était évidemment de la fièvre hectique.

L'appétit est presque nul, l'état général s'aggrave encore ; une eschare gangréneuse envahit le prépuce, et enfin le malade succombe dans le marasme trois mois après son accident.

Il y avait un mois que la paralysie de la vessie avait cessé ; mais il n'y avait eu aucune amélioration du côté de la motilité et de la sensibilité des membres inférieurs.

V. Au commencement de septembre 1868, le nommé Nicolas Kardachi est pris, sur la côte de Bengazi, de paralysie des membres inférieurs, de la vessie et du rectum. Il y avait chez lui paralysie complète des mouvements, hypéresthésie de la peau et vives douleurs depuis la hauteur des reins jusqu'à l'extrémité des doigts des pieds.

L'affection s'était déclarée fort peu de temps après qu'il fut remonté sur le pont de son caïque.

On le ramène aussi vite que possible à Calymnos, où il arrive cinq jours après le début de la maladie. Il n'avait pas uriné et n'avait pas eu de selles ; la vessie, fort distendue, lui causait de vives souffrances. Le cathétérisme, l'emploi des purgatifs et l'application d'un large vésicatoire sur le rachis, à la hauteur des lombes, furent les premiers moyens employés par M. le docteur Pélicanos.

Le malade était tout à fait sans fièvre ; l'appétit était bon ; le régime fut tonique dès le début.

Le vésicatoire de la région lombaire fut renouvelé, et les mouvements revinrent

peu à peu, en même temps que la sensibilité normale. La paralysie de la vessie fut la première à céder, et au bout d'un mois et demi le malade put marcher un peu en traînant les jambes. On lui fait d'abord des frictions le long de la colonne vertébrale avec de la teinture de noix vomique, puis ensuite avec le liniment suivant :

Huile d'olive.	250	grammes.
Essence de térébenthine.	30	—
Camphre.	4	—
Teinture de cantharides	4	—
Ammoniaque liquide.	20	—

Le docteur Pélicanos se loue beaucoup de l'emploi de ce dernier médicament; les mouvements revinrent peu à peu, et au bout de trois mois le malade était parfaitement guéri.

VI. Septembre 1868. — L'histoire de ce malade, nommé Nomikas Sissoïs, est tout à fait la même que celle du précédent. Il fut pris comme lui en pêchant à Bengaz, à la fin de la saison de pêche, par des fonds de 35 à 45 mètres; il mit plus de temps pour se rendre à Calymnos, et l'affection a duré plus longtemps, quoiqu'il ait pu marcher, en se traînant, au bout d'un mois.

Le traitement a été le même, la durée de la maladie six mois; et en janvier 1870, c'est-à-dire quinze mois après le début, il ne lui reste qu'une légère hésitation dans la démarche. On a essayé sur lui l'injection dans la vessie d'une faible dose de sulfate de strychnine; mais ce moyen n'a pas donné de résultats satisfaisants.

VII. Au mois d'août 1869, sur les côtes de Crête, le nommé Philippe Karantoni est paralysé des membres inférieurs après avoir plongé à 35 ou 40 mètres de profondeur. La vessie et le rectum sont épargnés. On n'a employé comme traitement que le liniment excitant déjà indiqué, et la guérison a eu lieu en quinze jours.

VIII. Au mois de septembre 1869, dans l'Archipel grec, le nommé Georges Ervloïa est paralysé de toute la portion inférieure du corps; la vessie et le rectum sont pris; le malade éprouve aussi de violentes douleurs dans tout le corps. Il arrive à Calymnos le lendemain du début de son affection.

Le cathétérisme, un purgatif et l'emploi du liniment excitant amènent la guérison radicale en vingt jours.

IX. Au mois de septembre 1869, le nomm Georgios Baboris plongeait à Candie: il fut atteint légèrement de paralysie. Traité à Mégalo-Castro, il fut très-rapidement sur pied, et il ne lui resta qu'un peu de faiblesse des membres inférieurs.

Après cette énumération intéressante, M. Gal ajoute :

Ce que nous venons de montrer par ces observations, la fréquence des lésions fonctionnelles de la moelle s'est aussi rencontrée pour les dix plongeurs qui sont morts en 1867. Trois seulement moururent subitement; les sept autres traînèrent plus ou moins longtemps. Ces derniers étaient tous paraplégiques. J'ai eu un autre but en citant ces observations, c'est de faire constater qu'avec des précautions, on peut arriver à diminuer sensiblement le nombre des accidents.

Ainsi, en 1867, il y avait en Grèce 12 scaphandres montés par 24 plongeurs ; il y eut dix morts. Les Grecs descendaient par des profondeurs de plus de 45 mètres,

se faisaient hisser rapidement quand ils voulaient remonter, faisaient un nombre considérable de plonges pendant la journée.

En 1868, il y avait au moins dix machines à Calymnos seulement. Elles employaient trente plongeurs; il y eut deux morts, et deux paraplégies suivies de guérison.

En 1869, plus de quinze machines, occupant plus de quarante-cinq plongeurs. Trois morts et trois paraplégies.

Je n'ai pu faire cette statistique que pour l'île de Calymnos; mais on voit combien le nombre et la gravité des accidents ont diminué. La mesure de prendre trois plongeurs par machine, pour diminuer le travail journalier de chacun d'eux, et un peu plus de prudence pour ce qui regarde la profondeur, ont suffi pour amener ce résultat. Un petit livre publié en grec par M. Denayrouse et répandu à profusion parmi les pêcheurs, a contribué sans doute pour sa part à cette amélioration. (P. 56.)

Nous arrivons ainsi à la seconde catégorie de maladies observées chez les plongeurs. M. Gal les désigne sous le nom de *Maladies à début insidieux :* elles sont, selon lui, les manifestations multiples (amaigrissement, pertes de force) d'une anémie particulière :

Comme l'a fait Foleÿ, nous attribuons l'amaigrissement à l'action même de l'air comprimé et ce que nous avons constaté maintes fois, qu'après plusieurs jours de travail, tous les plongeurs sans exception offraient des symptômes évidents d'anémie, et une prédisposition beaucoup plus marquée à être atteints par les affections à début brusque. C'était à ce moment-là que presque tous éprouvaient des douleurs musculaires plus ou moins vives, et que la prudence nous faisait une loi de leur faire prendre un repos réparateur. (P. 57.)

Je dois à M. le Dr Sampadarios, d'Égine, une série d'observations curieuses et inédites que je transcris, sans en rien retrancher; je suis heureux de pouvoir le remercier ici de ses intéressantes communications :

Observation. I. — Pendant l'été de l'année 1866 on m'a appelé pour visiter le sieur L. Cet homme plongeait en scaphandre depuis quelque temps pour pêcher l'éponge, il avait quarante ans. La veille, étant retiré du fond de la mer, il était tombé dans un état comateux; lorsque je l'ai vu, il était aux derniers moments, la face bouffie, bleuâtre, comme mort d'asphyxie.

Observation. II. — En 1867, j'ai observé un autre malade; il était descendu, dit-il, trois fois dans la même journée pour pêcher; à la troisième il avait senti au fond de la mer une gêne de la poitrine, et à peine avait-il eu le temps d'avertir en donnant le signe de le retirer. Ramené dans le bateau, il était tombé dans un état comateux, tout à fait insensible, dont il s'était remis après trois heures. Il avait alors dyspnée, paralysie complète des membres inférieurs et de la vessie, constipation, paralysie incomplète (parésie) des membres supérieurs, d'un côté surtout. La dyspnée avait bientôt disparu, on a été obligé de vider la vessie par la sonde. On a suivi le malade pendant un mois, il y a eu une amélioration, puis on l'a perdu de vue.

Observation. III. — N. B., visité par un autre confrère; il a depuis quelques

mois une paralysie des membres inférieurs et de la vessie, avec constipation, les urines sont vidées toujours au moyen de la sonde. On remarque seulement une faible flexion dans l'articulation coxofémorale et dans celle du genou : paralysie de la sensibilité plus ou moins avancée. Le malade retiré du fond de la mer était resté pendant quelques heures dans un état comateux ; lorsqu'il s'était remis, il avait de la dyspnée, et les membres étaient paralysés.

OBSERVATION. IV. — N. A. jeune homme robuste, de l'âge de vingt-cinq ans, bien portant jusqu'à présent; depuis quelque temps il était attaché à une compagnie de pêcheurs d'éponge, et il plongeait à scaphandre. J'ai été appelé pour le visiter le 20 juillet 1870, il m'a raconté que deux jours avant il avait trop travaillé, parce qu'il était resté cinq heures, dit-il, au fond de la mer pour ramasser des éponges, et par conséquent il avait senti une espèce de défaillance. Cependant il avait plongé de nouveau pour travailler; mais après une demi-heure de travail, il a senti qu'il se trouvait mal, il a donné le signe de le retirer, et on l'a retiré, dit-il, bien vite, comme on a l'habitude, lorsqu'on voit qu'on se trouve en danger; on lui a ôté bien vite aussi le scaphandre, après quoi il est tombé dans un état d'insensibilité. Il avait senti un engourdissement des membres, du tournoiement de la tête, et de sa bouche, dit-il, sortait de l'écume. On n'avait pas appelé un médecin, parce que de pareils symptômes s'étaient présentés plusieurs fois aux plongeurs, et qu'au moyen de frictions et de révulsifs aux extrémités, ils étaient remis après quelques heures. Lui aussi s'était remis de cet état comateux après cinq heures, après qu'il eût vomi plusieurs fois; mais pendant vingt-quatre heures il avait des tournoiements de tête, lorsqu'il ouvrait les yeux; les membres inférieurs et la vessie étaient paralysés. Il y avait encore au commencement une espèce de parésie des membres supérieurs, qui disparut vite, mais la rétention de l'urine complète persista, et c'est pour cela qu'on m'a appelé le troisième jour.

J'ai trouvé la vessie montant jusqu'à l'ombilic : il y a de la constipation, les membres inférieurs sont paralysés : à droite paralysie complète de la sensibilité et du mouvement, à gauche la sensibilité se conserve en partie avec mouvement de flexion faible à l'articulation coxo-fémorale; il n'y a aucun autre dérangement, pas de douleur à la colonne vertébrale. Nous avons vidé la vessie par la sonde ; le lendemain un purgatif d'huile de ricin a donné des évacuations. Nous avons continué à sonder le malade; enfin, après vingt et un jours, le malade a pu vider la vessie tout seul. Il faut noter qu'après le huitième cathétérisme est survenu un accès très-fort de fièvre intermittente, contre lequel nous avons donné la quinine, et qui ne s'est pas répété.

La paralysie des membres cède aussi aux frictions irritantes, et le quarantième jour le malade a pu marcher avec des béquilles. Nous lui avons administré l'extrait de noix vomique, des douleurs se sont présentées le long des membres, mais sans aucune amélioration perçue. Ne connaissant pas la nature de la maladie, nous avons fait un traitement symptomatique; nous lui avons donné intérieurement l'iodure de potassium.

24 octobre. — Les membres inférieurs sont encore faibles, surtout à gauche, où l'on remarque en même temps, à la jambe et au pied, manque de sensibilité de la douleur et du contact, sensation modérée du froid. A droite, où il y avait au commencement paralysie complète du sentiment et du mouvement, persiste seulement de l'insensibilité à la partie externe du dos du pied. Les mouvements actifs se font bien, excepté une faiblesse à gauche à l'articulation tibio-tarsienne, surtout à la flexion. Les mouvements passifs sont naturels.

L'examen par l'électricité (appareil d'induction) rencontre à droite la contrac-

tilité électrique diminuée des muscles qui dépendent du nerf péronier. A gauche non-seulement ceux-ci, mais encore les jambiers ont la contractilité électrique diminuée. Les autres muscles réagissent bien, comme ceux du ventre.

Nous avons continué à faradiser la peau et les muscles des membres et du ventre. Il y a eu une amélioration. Pendant deux heures après la faradisation le malade sentait ses mouvements libres, comme s'il était tout à fait bien portant.

28 *novembre.* — Insensibilité de la douleur, du contact et du froid à gauche jusqu'à la moitié de la cuisse, même la moitié du pénis, à droite seulement insensibilité de la douleur et du contact au pied ; faiblesse des membres, pourtant l'extension du pied à droite est très-incomplète. Si le malade ferme les yeux, il chancèle et il va tomber. Incoordination ou irrégularité des mouvements pendant la marche, contractions involontaires, convulsives, par action réflexe des membres inférieurs, par exemple de la morsure d'une puce aux fesses ou aux lombes. Quelquefois rétention de l'urine, d'autrefois incontinence. Nous lui avons appliqué deux cautères à la colonne vertébrale, et nous lui avons donné à l'intérieur l'iodure de potassium.

10 *décembre.* — Amélioration, il veut s'en aller.

Après mes publications que j'ai faites à propos de cette question, en 1871, au mois de septembre, M. le docteur Cotsonopoulos, de Nauplie de la Morée, a publié une observation suivie d'autopsie dans le journal grec *Asclepios* (Esculape), où sont publiées aussi mes observations. Je vous en fais la traduction.

D. N. à l'âge de 30 ans, marin bien constitué, fort, travaillant depuis une année avec le scaphandre anglais, a été transporté le 2 mai à l'hôpital de Nauplie. Avant 6 jours il travaillait au bord du golfe argolique, à la profondeur de 30 mètres sur un sol boueux. Lorsqu'on l'a retiré, il a senti une douleur aux lombes et un fort engourdissement des membres inférieurs, dont les mouvements après une heure étaient tout à fait impossibles. Les camarades lui ont fait des frictions et ils lui ont cautérisé le pénis. Un médecin l'a saigné avant son entrée à l'hôpital et il lui a appliqué sur les lombes plusieurs fois des ventouses, un vésicatoire qu'il a saupoudré avec la strychnine, et des cautères avec le cautère actuel. A son entrée à l'hôpital la paraplégie était complète ; aucun mouvement des membres inférieurs ; aucune contraction, même par l'électricité, dit-on ; perte de la sensibilité et même de la sensibilité électrique. Le tiers supérieur de la cuisse un peu sensible ; le malade avait quelquefois spontanément un sentiment de brûlure aux jambes ; paralysie de la vessie, paresse du tube digestif, le ventre gonflé : on vidait la vessie deux fois par jour. La pression à la colonne vertébrale n'était pas douloureuse. Un érythème douloureux existe à la région sacrée, c'est le commencement de la gangrène du décubitus, qui se développe plus tard. Pas de fièvre, En présence de pareilles symptômes survenus subitement avec douleur aux lombes, on a admis une hémorrhagie dans la colonne vertébrale et on a ordonné de nouveau des ventouses et des sangsues à l'anus, des purgatifs et des lavements vinaigrés, les purgatifs n'ayant rien fait. Il y a eu une petite amélioration : la sensibilité a augmenté un peu à la partie supérieure des cuisses, mais bientôt le mal a fait des progrès ; une cystite se développe avec gangrène de dubitus, fièvre, frissons, incontinence avec rétention, évacuations involontaires; enfin, par suite des progrès de la gangrène, le sacrum est tout à fait dénudé. Aux derniers jours de la maladie des eschares s'étaient présentées aux talons.

La mort survient le quarantième jour du commencement de la maladie. Le malade avait conservé ses facultés intellectuelles intactes jusqu'à la fin.

Autopsie. — C'est avec difficulté que les parents ont permis de faire l'autopsie. Le docteur Jéanopoulos était présent. On a ouvert le canal dorsal, et on a trouvé du sang en quantité demi-coagulé, rouge-noir, situé entre la dure-mère et le canal osseux et s'étendant de la première vertèbre lombaire jusqu'à la fin du sac méningien. La surface extérieure de la dure-mère, qui était mouillée par le sang, était d'une couleur rouge-noire et infiltrée de sang extravasé. Sa surface interne après la section était trouvée blanchâtre et un peu injectée. A la partie inférieure de la cavité sous-arachnoidienne existait aussi un épanchement de sang rouge foncé, demi-coagulé en quantité assez grande autour des nerfs formant la queue du cheval. Ayant fait des incisions dans différents endroits de la moelle épinière, nous avons trouvé que sa portion lombaire en grande partie et le tiers supérieur de la portion thoracique avaient subi le ramollissement blanc à un degré considérable, parce que à peine la pie-mère était coupée ou déchirée, la substance de la moelle coulait, pour ainsi dire, dehors. Les autres portions de la moelle, celles mêmes qui étaient situées entre les portions ramollies, avaient la consistance naturelle ; pas de congestion ni dans la moelle ni dans la pie-mère. Les parents du malade étant venus, on n'a pas fait l'examen des autres cavités ; on a ouvert seulement l'hypogastre pour voir la vessie, dont les parois étaient très-hypertrophiées.

Telles sont les observations qu'on a publiées chez nous jusqu'à présent concernant cette question.

Si nous analysons ces divers faits, nous voyons que la mort est arrivée de deux manières : ou tout de suite ou par lésion de la moelle épinière. Lorsqu'on précisera la nature de cette maladie, on pourra savoir si ce sont deux causes différentes qui produisent ces deux sortes de manifestations morbides, où si ce sont des différents degrés d'une affection.

Je dois remarquer seulement que si on voulait expliquer ces accidents seulement par le changement de la pression atmosphérique, cela ne suffirait pas ; parce que bien certainement le dérangement de la santé commence au fond de la mer. Le pêcheur sent qu'il se trouve mal, et il donne le signe de le retirer. M. Cotsonopoulos cite un cas où l'on a retiré le plongeur presque mort, et il a été mort après quelques mouvements. Le malade que j'ai soigné m'a raconté aussi un pareil accident. Je ne suis pas sûr si la mort est arrivée de la même manière à mon malade (observation I). Ces gens racontent qu'ils se trouvent mal lorsqu'ils travaillent à une grande profondeur pendant quatre ou cinq heures, lorsqu'il y a du vent et des vagues, et peut-être alors on ne peut pas régler la pression de la machine, enfin lorsqu'ils se fatiguent trop. Il faut noter que lorsque le plongeur donne le signe qu'il se trouve mal, on s'empresse de le retirer bien vite, et au premier dérangement s'ajoute peut-être celui de la décompression brusque. Lorsqu'ils descendent à une profondeur plus grande que 30 mètres, ils ne peuvent pas y travailler longtemps ; plus ils descendent profondément moins ils resteraient. Du reste quelquefois la pression de la machine n'est pas assez forte ou régulière, et le plongeur sent la colonne de l'eau qui commence de lui presser l'habit autour des mains et des pieds, alors il fait le signe convenu et on lui envoie de l'air. Il paraît qu'on travaillait chez nous, au commencement au moins, avec le scaphandre anglais.

Quant à la paraplégie qui persiste, on voit qu'elle se présente comme un reste d'un dérangement qui a agi sur tout l'organisme (observations 2, 4), mais qui n'ayant pas causé la mort, ne laisse de dérangement matériel que dans la moelle épinière, parce qu'on ne peut pas accepter que cette affection de la moelle

seulement a causé la mort ou cet état général qu'on observe au commencement. Mais quelle est la nature de cette affection ? M. Le Roy de Méricourt pense qu'il se fait des hémorrhagies capillaires dans la moelle pendant la décompression. Chez notre malade (observ. 4), nous avons vu au commencement une paraplégie, une abolition complète des fonctions de la moelle ; une amélioration très-grande est survenue après quelques jours, et plus tard nous avons eu le tableau d'une myélite. Le siége de l'affection devait être dans la portion thoracique, pour que nous ayons la vessie et le rectum plus ou moins paralysés, car, lorsque la région lombaire souffre, il y a seulement paralysie des extrémités inférieures.

L'autopsie de l'autre malade nous a donné un ramollissement diffus de la moelle et une hémorrhagie. Mais c'est le ramollissement de la moelle, qui occupait même la portion thoracique, qui peut expliquer les symptômes de la paralysie de la vessie et du rectum et non pas l'hémorrhagie qui occupait la portion lombaire. Quant à nous, nous pensons que les ecchymoses des membranes sont en relation avec la gangrène du sacrum. Disons de plus que notre malade n'avait senti aucune douleur, et il s'en serait produit dans une hémorrhagie des membranes de la moelle.

Mais comment se produisit cette inflammation de la moelle? Est-ce par des hémorrhagies capillaires ? Est-ce par dilatation des capillaires par les gaz et de suite par altération de nutrition (ramollissement) ?

Les examens microscopiques sur des hommes ou sur des animaux pourront élucider cette question.

Samsoun (Turquie d'Asie), 6 juin 1875.

CHAPITRE II

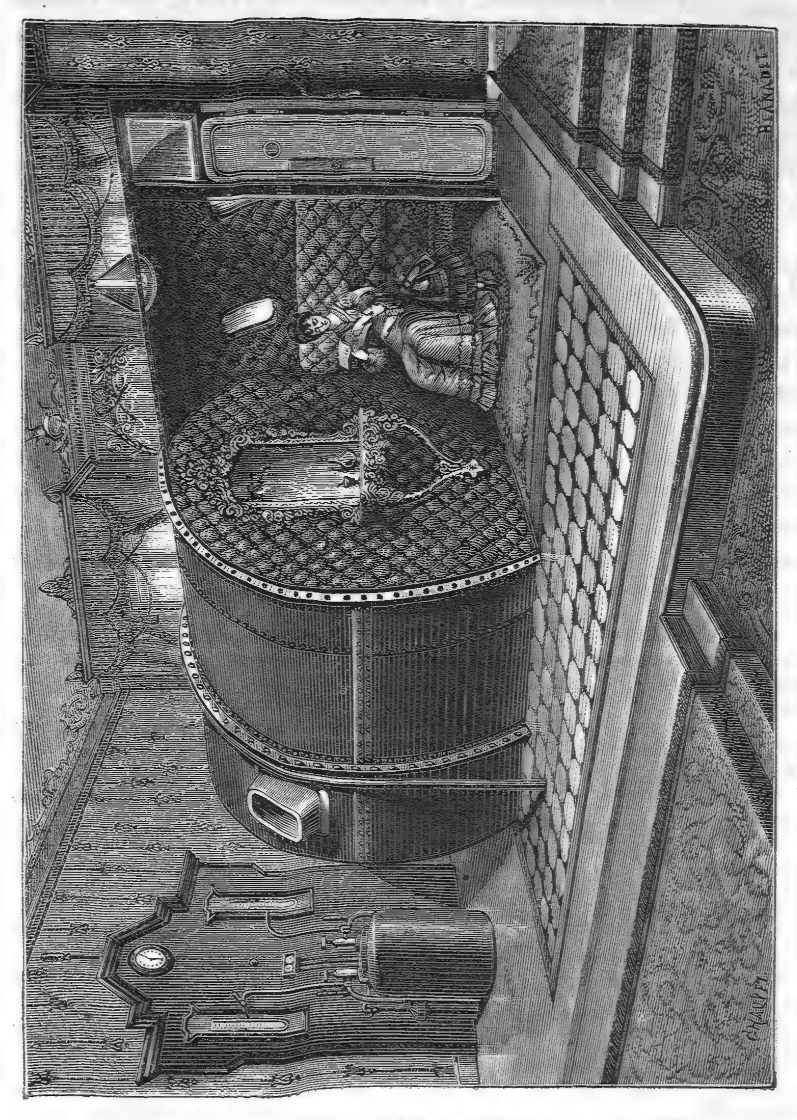
FAIBLES PRESSIONS.

Les pressions dont il s'agit dans ce chapitre n'ont jamais attteint une atmosphère surajoutée à l'atmosphère normale. Les ouvriers employés à la fondation des piles de pont, les plongeurs à scaphandre sont eux aussi évidemment soumis fréquemment à ces pressions médiocres ; mais comme ils n'y éprouvent aucun malaise (sauf les douleurs d'oreilles du début) comme ils en sortent sans encombre, l'attention des ingénieurs ou des médecins n'a presque jamais été appelée sur les phénomènes qu'on aurait pu observer dans ces conditions.

Il en est tout autrement pour les pressions basses que, dans un but thérapeutique, les médecins emploient fréquemment aujourd'hui. Ici, au contraire, les observations délicates, d'ordre purement physiologique, ont été accumulées, et l'on a étudié l'action de l'air faiblement comprimé avec le même soin et suivant la même méthode que celle d'une substance médicamenteuse quelconque : à savoir sur l'homme sain d'abord, puis dans divers cas pathologiques.

C'est à trois médecins français, Junod de Paris, Tabarié de Montpellier et Pravaz de Lyon, que revient l'honneur d'avoir introduit dans la thérapeutique un agent dont la puissance est chaque jour constatée par les praticiens et dont l'emploi deviendra, on peut l'affirmer, de plus en plus fréquent. Je ne veux pas prendre un parti dans la querelle qui s'est élevée entre eux au sujet de la priorité de l'invention ; autant qu'il me semble, elle appartient à M. Junod ; c'est lui, du moins, qui fit à ce sujet les premières publications.

Fig. 9.



L'établissement aérothérapeutique du docteur Carlo Fornanini, à Milan.
Cylindre horizontal contenant deux chambres; la paroi antérieure de celle de droite a été enlevée.

Aujourd'hui, les appareils destinés au traitement par l'air comprimé sont assez nombreux. On en trouve : en France, deux établissements à Paris, d'autres à Lyon, Montpellier, Nice ; en Allemagne, à Hanovre, à Stuttgard, à Wiesbaden, à Johannisberg, à Reichenhall, à Ems ; en Danemark, à Altona ; en Suède, à Stockholm ; en Écosse, à Ben Rhydding ; en Angleterre, à Londres ; en Italie, à Milan. La figure ci-contre représente l'appareil que le Dr Fornanini a installé dans cette dernière ville.

Les divers directeurs de ces établissements diffèrent d'opinion quant à la pression qu'il convient d'employer ou plutôt quant au degré par lequel il faut débuter. Il en est qui tiennent pour les pressions fortes, de 30 centimètres au moins ; à Paris, M. Leval-Piquechef se trouve bien de débuter avec une grande prudence, par 10 cent. au plus. Il ne m'appartient pas de discuter ces divers points de pratique ; je ne m'occuperai pas non plus des applications thérapeutiques de la méthode, me bornant à dire une fois pour toutes que son efficacité a été reconnue très-puissante dans l'asthme emphysémateux, dans les bronchites chroniques, dans les chloro-anémies, et les hémorrhagies passives ; elle paraît être à la fois tonique et sédative, pour employer le langage de l'École[1].

[1] Voici la série des principaux travaux qui ont été publiés sur l'emploi thérapeutique de l'air comprimé. Je n'y ai pas compris ceux que je cite et analyse dans le présent chapitre et dans le chapitre suivant. Cette énumération montrera à quelle étonnante variété de maladies on a essayé d'appliquer la médication nouvelle :

Pravaz, *Mém. sur l'emploi du bain d'air comprimé dans le traitement des affections tuberculeuses, des hémorrhagies capillaires et des surdités catarrhales. — Acad. de Med. de Paris,* 6 déc. 1837. — Cpt. R. Acad. des Sciences, t. VII, p. 283, 1838.

Id., *De l'influence de la respiration sur la santé et la vigueur de l'homme.* — Lyon, 1842.

Id., *Mémoire sur l'emploi de la compression au moyen de l'air condensé dans les hydarthroses, et sur la possibilité de réduire certaines luxations spontanées de la hanche.* — Lyon, 1843.

Dubreuil, *Bains d'air comprimé.* — Marseille, 1848.

De la Prade, *Rapport sur le mémoire relatif aux bains d'air comprimé,* in *Essai sur l'emploi médical de l'air comprimé, par Pravaz.* — Lyon, 1850.

Poyser, *On the treatment of chronic and other diseases by baths of compressed air. — Association Med. Journal,* sept. 9, 1855.

Devay, *Du bain d'air comprimé dans les affections graves des organes respiratoires. — Gazette hebd.,* 1855.

Schütz, *Briefliche Mittheilungen aus Nizza.* — Deutsche Klinik, février 1857.

Bottini, *Dell'aria compressa come agente terapeutico. — Gazz. med. italiana, Stati Sardi,* 1857.

A. Simpson, *Compressed air as a therapeutic agent.* — Edinburgh, 1857.

Haughton, *On the use of the compressed air baths. — Dublin, Hosp. Gaz.,* 1858.

Pravaz fils, *Des effets physiologiques et des applications thérapeutiques de l'air comprimé.* — Lyon, 1859.

Gindrod, *The compressed air-bath, a therapeutical agent in various affections of the respiratory organs and other diseases.* — London, 1860.

Avant d'arriver à l'énumération des témoignages recueillis

Lippert (in Nizza), *Ueber Paris naeh Nizza, medicinishe Reiseskizze.* — Deutsche Klinik, octobre 1861.

Trier, *Om Bode i fortœttet luft.* — Kjöbenhavn, 1863.

G. Lange, *Der pneumatische apparat.* — Wiener Med., Wochenschift, août 1863.

Levinstein, *Beobachtungen über die Einwirkung der verdichteten Luft bei Krankheiten der Respirations-und Circulations-Organe.* — Berl. Wochenschrift, 1864.

Freud, *Der pneumatische apparat. Wirkung und Anwendung der comprimirten Luft in verschiedenen Kranhheiten.* — Wien, 1864.

Fischer, *Errichtung eines Luft compression Apparates zu Hannover.* — 1864.

Josephson, *Die therapeutische Auwendung der comprimirten Luft.* — Deutsche Klinik, 1864.

Levinstein, *Grundzüge zur practischen Otiartie mit Berücksichtigung der neuesten therapeutischen Technik*, etc. — Berlin, 1865.

Smoler, *Die Anwendung der comprimirten Luft in Krankheiten der Gehörorganes, Osterr. Zeists. f. pract. Heilkunde.* — Wien, 1865.

Storch, *Jagttagelser over Virkningen af comprimiret Luft ved behandlingen af Brysttidelser, meddelte fra Rasmussens medico-pneumatiske Austalt.* — *Hospitals-Tidende VIII. Aarg.* — Kjöbenhavn, 1865.

Sandahl, *Nyare undersökningar och iakttagelser rörande de fysiologiska och terapeutiska verkningarne af bad i förtätad luft.* Hygiea. — Stockholm, 1865.

Id., *Berättelse om den mediko-pneumatiska anstaltens verksamhet i Stockholm under aren* 1863 *och* 1864. — Stockholm, 1865.

Freud, *Vortrag über der pneumatisch Apparat, und seine Wirkungen im Wiener Doctoren colleg.* — Zeitsch f. pract. Heilk., 1865.

Bertin (Emile). *Analyse de trois brochures sur l'air comprimé.* — *Montpellier médical*, 1866.

Kryszka, *Der atmosphärische Druck.* — Voch. d. Zeitsch der K. K. Gesellsch. der Aerzte in Wien, 1866.

Pravaz fils, *De l'application de l'air comprimé au traitement de la surdité catarrhale.* — Grenoble, 1866.

Brünniche, *Beretning om A. Rasmussens medico-pneumatiske Anstalt i* 1866. — *Bibliotek for Lager.* Kjöbenhavn, 1867.

George v. Liebig, *Der pneumatische Apparat zu Reichenhall und andere Fortschritte des gen. Kurorts.* — *Bayer. arztl, Intell. Blatt;* 1867.

Id. *Der pneumatisehe Apparat zu Reichenhall während der Saison von* 1867. — *Ibid.*, 1868.

Sandahl, *Des bains d'air comprimé. Court aperçu de leurs effets physiologiques et thérapeutiques,* — Stockholm, 1867.

Roussaux, *De l'aérothérapie.* — Thèse de Paris, 1868.

Levinstein, *Zur Casuistik der Anwendung der verdichteten Luft bei Lungenkranken.* — *Kisch's Baln. Zeitung;* 1868, Bd. II.

Gent, *Emploi thérapeutique de l'air comprimé.* — *Bull. Acad. de Méd.*, 20 nov. 1869.

Freud, *On the effects of compressed air on the organism in general and especially upon diseased organs of respiration.* — *New-York Med. Gaz.*, février 1871.

G. v. Liebig, *Die Wirkung der erhörten Luftdrucks der pneumatischen Kammen auf der Menschen.* — Deutsche Klinik, 1872, n° 21 et 22.

Id., *Ueber Blutcirculation in den Lungen und ihre Beziehungen zum Luftdruck.* — *Arch. f. klin. Med.*, juin 1872.

Runge, *Zur Theorie der Wirkung der comprimirten Luft auf den Organismus.* — *Wien. allg. med. Zeit.;* Wien, 1868, n°s 12 et 13.

Pundschu, *Ueber den pneumatisch. Apparat als Kurmittel für Brustkranke.* — *Wien. med. Press.;* n°s 48 et 49. Wien, 1868.

Franchet, *Du bain d'air comprimé.* — Thèses de Paris, 1873.

Féréol, *Applications thérapeutiques de l'air comprimé.* — *Gaz. méd.*, 1873, p. 238.

par les physiologistes et les médecins, je crois devoir rapporter, d'après Jæger[1], le récit d'une catastrophe qui fit grand bruit en son temps, et dans laquelle ouvriers et médecins prétendirent que l'air comprimé avait contribué à augmenter les souffrances des victimes, ce qui, à mes yeux, n'est rien moins que démontré.

Les 28 février 1812, à 11 heures du matin, une fosse de la mine à charbon de Beaujeu, près Leodium, fut envahie par les eaux ; 127 ouvriers se trouvaient à 270^{m} de profondeur. 90 d'entre eux furent bloqués au fond d'une galerie, dans de l'air comprimé « capable de soutenir l'eau à 64 pieds dans un tube métallique, et dont la densité était par conséquent double de celle de l'atmosphère ». Ils restèrent 7 jours dans cette position critique ; 70 seulement survécurent :

Comme il était impossible à ces malheureux de communiquer avec le reste de la fosse, ils restèrent confinés dans un étroit espace, privés d'air et de toutes choses. Mais leur chef Coffin et son fils montrèrent un courage héroïque . . .
On ne parvint à eux que le septième jour. Ainsi, pendant sept jours et autant de nuits, ils furent privés de lumière et de nourriture, et épuisés par un travail continuel. Il souffrirent incroyablement de la faim et de la soif ; la respiration était difficile, et les chandelles, par le manque d'air, s'éteignaient. Ils ressentaient une ardeur suffocante, la peau était sèche et brûlante. Ils assurèrent que la pression énorme de l'air leur était fort pénible..... Quelques-uns devinrent fous, et les autres devaient les secourir et se protéger contre eux. . . . .
Dans mon opinion, la densité étonnante de l'air fut la cause de ces phénomènes. Il n'est pas douteux que l'air n'ait produit plus de chaleur par sa condensation, car, on le sait, celle-ci peut arriver à produire du feu..... Il arrive ainsi que les processus de combustion se sont tellement accélérés dans les poumons, que la sensation de chaleur peut s'expliquer (p. 98).

La première publication relative aux symptômes éprouvés par les hommes placés dans l'air comprimé est due à M. Junod[2]. Il rend compte de ses observations dans les termes suivants :

Lorsqu'on augmente de moitié la pression naturelle de l'atmosphère sur le corps de l'homme placé dans le récipient, voici ce que l'on observe :
1° La membrane du tympan refoulée vers l'oreille interne devient le siége d'une pression assez incommode. Toutefois, elle se dissipe à mesure que l'équilibre se rétablit.
2° Le jeu de la respiration se fait avec une facilité nouvelle, la capacité des poumons pour l'air semble augmenter, les aspirations sont grandes et moins fréquentes ; au bout de 15 minutes, on éprouve à l'intérieur du thorax une chaleur agréable, on dirait que les aréoles pulmonaires, qui depuis longtemps étaient

[1] *Tractatus physico-medicus de atmosphera et aere atmospherico.* — Cologne, 1816.
[2] *Loc. cit. :* Arch. gén. de Méd. ; 2e série, t. IX, p. 157-172, 1835.

devenues étrangères au contact de l'air, se dilatent de nouveau pour le recevoir, et toute l'économie puise dans chaque inspiration un surcroît de vie et de force.

3° L'augmentation de la densité de l'air paraît modifier la circulation d'une manière notable, le pouls a une tendance à la fréquence: il est plein et se déprime difficilement; le calibre des vaisseaux veineux superficiels diminue et peut même s'effacer complétement; de sorte que le sang, dans son retour vers le cœur, suit la direction des veines profondes. Si le calibre des vaisseaux superficiels augmente ou diminue en raison de la tension du ressort atmosphérique, il doit en être de même dans les organes pulmonaires qui sont placés à cet égard dans les mêmes circonstances; d'où il doit nécessairement résulter que, la pression de l'air étant augmentée, la quantité de sang veineux contenu dans les poumons doit diminuer; c'est là sans doute ce qui permet d'introduire à chaque inspiration une quantité d'air beaucoup plus considérable qu'à la pression normale de l'atmosphère.

Si la densité croissante de l'air diminue le calibre des vaisseaux veineux, il doit nécessairement en résulter que le sang se portera en plus grande quantité dans le système artériel, ainsi que vers les principaux centres nerveux, notamment dans le cerveau, lequel est soustrait à la pression directe de l'atmosphère par la résistance de la boîte osseuse qui l'enveloppe. Ainsi les fonctions de l'encéphale sont activées, l'imagination est vive, les pensées s'accompagnent d'un charme particulier, et chez quelques personnes il se manifeste des symptômes d'ivresse. Ce surcroît d'innervation agit également sur le système musculaire, les mouvements sont plus faciles et plus assurés.

4° Les fonctions du tube digestif sont activées : la soif est nulle;

5° Les glandes salivaires et rénales sécrètent leurs fluides avec abondance (p. 159).

Le rapport que fit Magendie sur le travail de M. Junod, rapport dont nous avons cité plus haut (p. 240) ce qui a trait à l'influence de la diminution atmosphérique, ne dit rien de nouveau sur le sujet, ni au point de vue symptomatique, ni au point de vue théorique.

C'est en 1838 seulement que Tabarié[1] donna de la publicité à ses recherches, qui, dit-il alors, remontaient cependant à une époque déjà très-reculée.

Sa note montre qu'il s'était proposé une série de problèmes très-complexes, puisque les procédés qu'il avait mis en usage comprenaient :

1° La condensation générale de l'air sur toute l'économie;
2° La condensation locale sur les membres;
3° La raréfaction locale sur les membres;
4° La condensation et la raréfaction alternatives et locales ou ondulation sur les membres;
5° La raréfaction sur toute l'habitude du corps sauf la tête;

[1] *Recherches sur les effets des variations dans la pression atmosphérique à la surface du corps.* — Cpt. R. Acad. des Sciences, t. VI, p. 896; 1838.

6° Le jeu des condensations et des raréfactions alternatives sur toute l'habitude du corps sauf la bouche, d'où résulte une respiration artificielle et complète contre l'asphyxie.

Le reste de sa note ne contient qu'un très-court résumé des applications faites de ces diverses méthodes. On n'y trouve rien de net, ni au point de vue des phénomènes physiologiques, ni sur les idées théoriques qu'il se faisait du mode d'action de l'air comprimé.

Mais dans un travail postérieur[1] il se montre un peu plus explicite quant à la description des phénomènes.

L'influence de l'air condensé, dit-il, est signalé par deux principaux traits :

1° L'air condensé réagit sur la circulation en la ralentissant; et en même temps qu'il diminue le nombre des battements du cœur, il en régularise le rhythme.

Ces phénomènes, qui sont peu sensibles dans un état normal de santé et sous l'action d'expériences brèves ou imparfaites, deviennent très-marqués dans le cas de maladies inflammatoires ou fébriles, lorsque toutefois les conditions expérimentales sont convenablement remplies et suffisamment soutenues . . . .

2° L'air condensé n'influence pas la calorification générale comme le ferait un air plus riche en oxygène; car bien loin d'exalter cette fonction, ainsi qu'on s'est plu à l'imaginer par analogie, il la modère et, dans certains cas, il va même jusqu'à l'affaiblir.

Ce fait, que j'annonçais en 1838, avec quelque timidité, s'est manifesté depuis lors avec une nouvelle évidence. Non-seulement l'usage du bain d'air comprimé ne développe aucune chaleur insolite à l'intérieur du thorax, mais, au contraire, il incline à produire une sensation générale de froid, alors même que la température des appareils est supérieure à celle qui règne au dehors; et chez quelques sujets où ce sentiment de réfrigération est plus marqué, on observe qu'il s'accroît avec la durée et l'élévation du degré des bains.

On obtient de meilleurs résultats à des pressions médiocres (2/5 d'atm.) qu'à des degrés plus élevés (2/3 d'atm.).

Du reste, la note de Tabarié ne contient aucune explication théorique.

Les premières tentatives de Pravaz pour appliquer les bains d'air comprimé à la thérapeutique remontent à 1836. Il commença à publier en 1837[2] le résultat de ses observations. Il a résumé dans le travail que nous prenons pour guide[3] ses notes et mémoires antérieurs.

Son appareil mesurait 9^{mc}. La pression employée était générale-

[1] *Sur l'action thérapeutique de l'air comprimé.* — Cpt. R. Acad. des Sc., t. XI, p. 26; 1840.

[2] Voir la note de la page 430.

[3] *Essai sur l'emploi médical de l'air comprimé.* — Lyon-Paris, 1850.

ment de 30 à 35^{c}. Pravaz décrit ainsi les phénomènes présentés par les sujets de ses expériences :

Chez la plupart des sujets d'une bonne constitution et dans l'état de santé, la circulation artérielle n'éprouve pas de modifications considérables, sans doute parce que la respiration qui suffisait à l'hématose sous la pression ordinaire conserve à peu près le même rhythme dans l'air condensé; mais il n'en est pas de même lorsqu'il y a accélération morbide du pouls; on le voit alors s'abaisser beaucoup, sauf dans quelques cas exceptionnels qui seront exposés plus tard.

L'injection des capillaires de la peau et des membranes muqueuses est évidemment diminuée par l'accroissement de pression exercée sur la périphérie du corps. Cet effet devient très-apparent sur la surface des vésicatoires et de la conjonctive, lorsque celle-ci est rouge et enflammée.

L'excitation des organes digestifs, notée par MM. Colladon et Junod, ne se borne pas toujours à produire une simple augmentation de l'appétit; quelquefois cette excitation arrive, après un certain temps, au point de déterminer une véritable boulimie, qui oblige de suspendre ou de rendre moins fréquent l'usage du bain d'air comprimé.

Parmi les sécrétions dont l'accroissement a été mentionné par les auteurs que je viens de citer, celle de l'urine éprouve, pour la quantité et la nature, des changements qui m'ont paru les plus remarquables; et cela doit résulter rationnellement de la plus grande activité imprimée à la métamorphose des tissus par une absorption plus grande d'oxygène.

Le sentiment d'une respiration plus facile, plus large, n'est pas éprouvé au même degré par tous les sujets qui sont placés dans l'air comprimé. Ceux qui respirent habituellement avec ampleur s'en aperçoivent à peine, mais il n'est pas de même des malades ou des valétudinaires atteints de dyspnée plus ou moins prononcée, soit par une affection des organes thoraciques, soit par un état de pléthore veineuse; ils éprouvent en général une sensation de bien-être extraordinaire qui leur persuaderait qu'ils sont guéris, si elle se prolongeait hors du bain. (P. 112.)

Un autre médecin de Lyon, Milliet[1], qui avait fondé l'établissement de Nice, a publié quelques années après des observations qui concordent en partie avec celles de Pravaz :

Un des phénomènes les plus remarquables produits par l'augmentation de la pression de l'air respiré, c'est le notable ralentissement imprimé à la circulation chez la plupart des sujets. Le rhythme circulatoire s'abaisse de 10, 15 et même de 45 pulsations..... Chez une femme âgée de 74 ans, souffrante d'une affection catarrhale subaiguë, le pouls qui s'était élevé à 120 pulsations, tomba à 60 et s'y maintint. (P. 13.). . . . .

Dans l'air condensé, les mouvements d'inspiration se ralentissent; ils se répètent avec moins de fréquence dans un même espace de tempsdonné pour effectuer régulièrement l'alimentation pulmonaire. (P. 15.)

Cependant la nouvelle méthode de traitement avait fait des pro-

[1] *De l'air comprimé comme agent thérapeutique.* — Lyon, 1854.

grès; des appareils avaient été installés à Stockholm, par le Dr Sandahl[1] qui, dès 1862, signalait les phénomènes physiologiques qu'il avait observés.

Après l'indication, l'étude détaillée et l'explication des douleurs d'oreilles habituelles, Sandahl arrive aux phénomènes respiratoires et circulatoires :

Dans 1454 observations, portant sur 75 personnes, les mouvements respiratoires ont été ralentis dans 1362 cas, comprenant 64 personnes; chez 11 personnes seulement, qui ont pris en tout 102 bains, la respiration a été plus rapide qu'auparavant. . . . .

En général, on trouve que la diminution du nombre des mouvements respiratoires non-seulement arrive pendant le bain, mais dure après le bain . . . .

Les battements du cœur deviennent également plus lents..... Ainsi le pouls, dans le bain où l'air était comprimé d'une demi-atmosphère, a diminué en moyenne de 9,94 battements.

Des observations semblables étaient faites à Nice. Tutschek[2] déclare que l'effet de l'air comprimé se manifeste par :

1° Agrandissement des cellules pulmonaires; 2° diminution du nombre des respirations; 3° ralentissement de la circulation artèrielle; 4° accélération de la circulation veineuse et capillaire; 5° excitation des dépenses organiques et de l'assimilation, se manifestant par une excrétion plus considérable de l'acide carbonique et de l'urée, et par une faim allant jusqu'à la gloutonnerie; 6° excitation plus grande du système nerveux par un sang plus riche en oxygène, se manifestant par l'activité d'esprit et une sensation de légèreté des mouvements.

Il ne dit pas la pression employée. Tout fait penser, du reste, que ce résumé symptomatique est simplement emprunté aux auteurs antérieurs; Tutschek n'a fait d'observation que sur 3 personnes saines et 6 malades. Chez les premières, le nombre des respirations diminuait de 3 à 5 et celui des pulsations de 0 à 10; les changements étaient plus grands chez les malades.

En Allemagne, le Dr G. Lange, médecin des eaux de Johannisberg, avait installé dans cet établissement un appareil à air comprimé. Il y fit, en commun avec Rudolph von Vivenot, de nombreuses observations dont nous allons parler, et publia sur les résultats de sa pratique un mémoire que traduisit en français M. Thierry-

[1] *Om verhningarne af förtätad luft pae den menskliga organismen, i fysiologiskt och terapeutiskt hänseende. — Medicinskt Archiv utgivet af Lärare vid Carolinska Institut et in Stockholm.* BdI. Hft I; p. 1-205; 1862. N'ayant pas pu me procurer le mémoire original, je cite d'après l'analyse étendue qu'en donne Von der Busch dans le *Schmidt's Jahrbucher der Gesammten Medicin*, t. CXX, p. 172-180; 1863.

[2] *Die comprimirte Luft als Heilmittel. — Aerztl. Intell. Bl.* 18,19. — Ext. in Canstatt's Jahr., 1863; t. V, p. 135.

Mieg. Les extraits intéressants de ce mémoire seront mieux à leur place au chapitre consacré à l'étude des explications théoriques.

Je citerai seulement ici le résumé qu'il donne des phénomènes observés sur les personnes soumises à l'action de l'air comprimé :

Ralentissement de la respiration et de la circulation; très-probablement, absorption plus considérable d'oxygène par la peau et les poumons; augmentation de l'exhalation d'acide carbonique; diminution de la transpiration cutanée et de l'exhalation pulmonaire; augmentation de la sécrétion urinaire, qui élimine plus d'acide urique et moins de phosphates; amélioration de l'hématose et de la nutrition; augmentation de l'énergie de l'appareil musculaire et de la capacité vitale des poumons. (P. 33.)

C'est en 1860 que von Vivenot commença la série de ses publications sur l'action physiologique et thérapeutique de l'air comprimé. Ses notes et mémoires nombreux[1] le conduisirent à la rédaction d'un ouvrage considérable[2], qui parut en 1868; c'est, de beaucoup, le travail le plus important qui ait été publié sur ce sujet.

La plus grande partie de ses recherches furent faites à l'établissement des bains de Johannisberg. L'altitude étant assez grande, la pression barométrique moyenne n'était que de $741^{mm},17$; la compression employée s'élevant à $318^{mm},07$, on avait, pour la pression totale, $1060^{mm},24$. On atteignait dans l'appareil cette pression en 20 minu-

[1] *Ueber den Einfluss der veränderten Luftdruckes auf den menschlichen Organismus. — Virchow's Archiv fur pathol. Anat. und Physiol. und Klin. Medicin, Bd* XIX. — Berlin, 1860, p. 492-521.

Ueber die therap. Anwendung der verdichteten Luft, und die Errichtung eines Luft Compressions Apparates in Wien. — Wochenblatt der Zeits. der K. K. Gesellschaft der Aerzte zu Wien. Nos des 9, 16 et 23 juillet 1862.

Ueber die Aufstellung eines pneumatischen Apparates in Wien. — Allgemeine Wiener Medic. Zeit. — Nos du 13 et 10 Février 1863.

Ueber der Einfluss der verstärkten und verminderten Luftdruckes auf der Mechanismus und Chemismus der Respiration. — Medic. Jahrb. der Zeitsch. der K. K. Gesellschaft der Aerzte zu Wien. — Mai 1865. Traduit en partie par Thierry-Mieg; *Gaz. Med. de Paris,* 1868.

Ueber die Zunahme der Lungen capacität bei therapeutischer Anwendung der verdichteten Luft. — Virchow's Archiv. Bd. XXXIII; Berlin, 1865, pag. 126-144.

Ueber die Veränderungen im arteriellen Stromgebiete untér den Einfluss des verstärkten Luftdruckes. — Virchow's Archiv. Bd. XXXIV; Berlin, 1865; p. 515-591. Traduit par Lorain; Le Pouls, Paris, 1870.

Ueber die Veranderungen der Körperwärme unter den Einflusse der verstärkten Luftdruckes. — Medicinische Jahrb. der Zeitsch. der K. K. Gesellsch. der Aerzte zu Wien. — Février, 1866.

Ueber Luftdruckcuren. — Der Cursalon. Wien, 1867, nos 6 et 7.

Beiträge zur pneumatischen Respirationstherapie; Allgem. Wien. med. Zeitung. — Wien, 1868.

[2] *Zur Kenntniss der physiologischen Wirkungen und der therapeutischen Anwendung der verdichteten Luft.* — Erlangen, 1868; gd. in-8e de XII-626 pages.

tes ; elle y restait permanente pendant 1 heure ; 40 minutes étaient employées pour revenir à la pression normale.

Respiration. — Le plus important des mémoires de Vivenot est celui qu'il a consacré à l'étude des modifications des actes mécaniques et chimiques de la respiration. Comme il n'y a ajouté, dans son grand ouvrage, que des détails d'observation d'un médiocre intérêt, je ne puis mieux faire que de reproduire les principaux passages du travail primitif, publié en 1865 ; c'est en quelque sorte une analyse de Vivenot par Vivenot lui-même.

Nous nous bornerons cependant ici à rapporter les observations relatives aux changements du rhythme respiratoire et de la capacité pulmonaire ; la partie chimique, étant beaucoup plus intimement liée aux questions de théorie, sera mieux à sa place dans le chapitre suivant :

Si l'on examine un individu d'abord sous la pression normale, puis sous l'air comprimé, on peut constater par la *percussion*, l'*auscultation* et la *palpation* des changements de grandeur et de situation de divers organes, correspondant aux nouvelles conditions de pression. A-t-on marqué, sous la pression normale, la position du diaphragme et la limite supérieure du foie correspondantes à une inspiration et à une expiration aussi profondes que possible, ainsi que les limites de la matité du cœur, on trouve que, dans les deux cas, sous l'air comprimé, le diaphragme et le foie sont situés plus bas ; l'abaissement est de 1 1/2 à 2 centimètres sous une augmentation de pression de 3/7 d'atmosphère ; la matité du cœur est devenue moins étendue et a pris une autre forme (celle d'une faucille dont la convexité est tournée vers le sternum). En même temps l'impulsion cardiaque semble au doigt qui palpe moins vigoureuse, et l'oreille qui ausculte perçoit les bruits du cœur plus faibles, comme s'ils étaient plus éloignés. Il se produit quelquefois dans l'air comprimé une dilatation mécanique des poumons, à la suite de laquelle le diaphragme et le foie sont repoussés en bas, pendant que le lobe antérieur du poumon gauche vient se placer par-dessus la moitié correspondante du cœur. C'est pour cette raison que la matité du cœur diminue, que la forme en est changée, et que l'impulsion et les bruits du même organe paraissent affaiblis.

L'augmentation de capacité des poumons, démontrée par ces faits, se démontre encore d'une autre manière. Ainsi, dans l'air comprimé, le *spiromètre* permet de constater une augmentation assez notable de la capacité respiratoire. La moyenne d'un grand nombre d'expériences, faites pendant un séjour d'une heure et demie sous la pression de 1 3/7 d'atmosphère, a donné chez moi une augmentation de 108,07 centimètres cubes, chez le docteur G. Lange 133,3, chez le docteur Mittermaier (après une seule expérience) 121,0 et chez M. H....y 99,2^{cc}. Or, ma capacité pulmonaire étant en moyenne 3425^{cc}, celle du docteur Lange 3950^{cc}, celle du docteur Mittermaier 4159^{cc} et celle de M. H....y 2910^{cc}, il s'ensuit que l'augmentation de la capacité des poumons a été, chez moi, de 1/31,7, chez le docteur Lange de 1/29,7, chez le docteur Mittermaier de 1/33,4 et chez M. H....y de 1/29,3.

On voit que ces résultats ne diffèrent pas sensiblement les uns des autres et ils indiquent *une moyenne d'augmentation de la capacité pulmonaire égale à* 1/31,5 *du volume des poumons* soit 3,3 pour cent. Comme maximum de cette augmenta-

tion, j'ai obtenu chez moi 254^{cc}, chez le docteur Lange 200^{cc}, chez M. H....y 225^{cc}, chez M. R. 270^{cc} et même 500; 686 chez un emphysémateux, M. G., dont la capacité respiratoire moyenne était de 2268^{cc}, c'est-à-dire environ 2/9 à 2/7 de la capacité respiratoire totale.

L'effet obtenu est, comme on le voit, doublé : d'une part, nous avons sous le même volume plus d'air atmosphérique, et d'autre part, nos poumons agrandis sont capables de recevoir un plus grand volume de cet air condensé. Si donc ma capacité respiratoire moyenne est de 3425^{cc} sous la pression normale, le même volume d'air comprimé à $1^{atm},37$ représenterait à lui seul 4893^{cc} d'air normal. Et comme, sous une pression augmentée, mes poumons inspirent en moyenne $108^{cc},1$ de plus, ce qui équivaut à $154^{cc},5$ d'air normal, que j'inspire, donc $3425 + 108^{cc},1 = 3533^{cc},1$ d'air comprimé, il en résulte que le volume d'air introduit par la plus forte inspiration sous l'influence de la compression équivaut à $5047^{cc},5$ d'air à la pression normale. . . . .

L'expérience a prouvé qu'après un séjour de 2 heures dans l'air comprimé, la capacité pulmonaire, même sous la pression normale, ne revient pas à son volume primitif, mais conserve un agrandissement qui, chez moi, s'élevait en moyenne à $50^{cc},53$, au maximum, à 183^{cc}; chez M. H...y en moyenne à $57^{cc},6$, au maximum à 124^{cc}. Elle a donné ensuite ce résultat intéressant, étonnant, que *l'effet consécutif n'est pas un effet passager, mais qu'il est en partie permanent*, de sorte qu'à la faveur de l'emploi de l'air comprimé pendant 2 heures tous les jours, on entre sous l'appareil pneumatique avec une capacité pulmonaire qui, en négligeant naturellement les variations physiologiques, dépasse tous les jours de 20 à 30^{cc} ce qu'elle était la veille. C'est ainsi que du 30 avril jusqu'au 19 septembre inclusivement, c'est-à-dire dans l'espace de 143 jours, après 122 bains d'air comprimé pris pendant ce temps, ma capacité pulmonaire sous la pression normale était montée successivement de 3051 à 3794^{cc} (sous l'air comprimé même jusqu'à 3981^{cc}), hauteur qu'elle avait déjà atteinte le 12 août après 91 bains d'air, et à laquelle elle s'est ensuite maintenue d'une façon presque constante. *La capacité vitale des poumons avait donc éprouvé chez moi dans l'espace de trois mois et demi une augmentation progressive de* 743^{cc}, *c'est-à-dire de près du quart de sa grandeur primitive* (de 24 pour cent). Un résultat semblable a été observé chez d'autres personnes. Chez M. H....y, la capacité respiratoire était montée après 11 jours d'emploi de l'air comprimé de 2900^{cc} à 3085^{cc}; chez M. de K., en 4 jours, de 3252^{cc} à 3664^{cc}; chez M. G., emphysémateux, en 17 jours, de 2202^{cc} à 2550^{cc}; la capacité respiratoire de ce dernier avait même atteint dans l'air comprimé 2836^{cc}.

Une suspension, même de plusieurs jours, ne laissait pas apercevoir d'effet rétrograde, et, trois semaines après mon dernier séjour dans l'air comprimé, le spiromètre démontra que ma capacité respiratoire s'était maintenue à 3800^{cc}. De même aussi, la percussion permit de constater après 3 semaines, ce qui fut fait par le professeur Duchek, que le refoulement de haut en bas du diaphragme et du foie, de 2 centimètres, et la diminution de la matité du cœur, caractères dont il a été question plus haut, se maintenaient.

Il est bien évident que de pareils changements dans la capacité pulmonaire ne peuvent être sans influence sur l'ensemble des fonctions respiratoires, et notamment sur le nombre, la profondeur et le rhythme des respirations.

Le nombre d'abord :

Déjà, dans mes premières expériences publiées il y a plusieurs années, j'avais trouvé le nombre des inspirations diminué ; ma longue série actuelle d'expériences a confirmé ce résultat, comme étant, on peut presque dire, *constant*. La diminution du nombre des inspirations varie selon les individualités. Elle est, en moyenne, d'autant plus grande que le nombre des respirations est lui-même plus considérable ; elle est en général de 3, 2, 1 à 1/2 respirations par minute. Comme maximum, j'ai constaté chez 2 emphysémateux, dont les inspirations s'élevaient à 33 par minute, une diminution qui était respectivement de 16 et de 11 inspirations.

Au retour sous la pression normale, le nombre des inspirations augmente de nouveau un peu, *mais sans atteindre son chiffre primitif*. En cela également, l'effet de l'air comprimé n'est pas seulement passager, *mais il a quelque chose de permanent*. Cela est d'autant plus évident que l'on considère la fréquence de la respiration dans une plus longue série d'observation. On constate alors que la *respiration est toujours moins fréquente le lendemain que la veille*. Comme elle éprouve une nouvelle diminution par l'effet de chaque nouvelle séance sous l'air comprimé, il en résulte ce fait certain et *constant que l'usage continu de l'air comprimé fait diminuer journellement, jusqu'à une certaine limite, la fréquence des mouvements respiratoires*.

Ma propre respiration, après trois mois d'usage journalier de l'air comprimé pendant 2 heures par jour, était tombée, de 20-16 par minute, à 4, 5 sous la pression normale et même à 3, 4 dans l'air comprimé.

Arrivée à ce degré de ralentissement, elle resta stationnaire pendant les expériences subséquentes (se ralentissant toujours un peu sous l'influence de la pression) et maintenant encore, au moment où j'écris ces lignes, bien que 5 mois se soient écoulés depuis lors, ma respiration ne dépasse pas le chiffre remarquable de 5,4 inspirations par minute. Le même résultat, moins éclatant, parce que la série des expériences a été plus courte, fut constaté par les observations faites sur d'autres personnes. Chez M. H....y, le nombre des inspirations était descendu en 12 jours de 21 successivement à 16 et dans l'air comprimé jusqu'à 13 par minute. Chez le docteur Lange, après 4 séances prises en 11 jours (nonobstant des interruptions de plusieurs jours) de 19 à 16, et sous l'air comprimé de 14 à 6 ; chez M. G., emphysémateux, après 14 séances prises en 19 jours, de 20,5 à 15,5 ; chez le docteur D., également emphysémateux, de 33, le second jour déjà, à 18, en 5 jours à 10,4.

C'est pendant les premiers jours que la fréquence respiratoire diminue de la façon la plus remarquable et la plus prompte ; plus tard, la diminution devient plus lente et les différences moins considérables.

Si nous comparons le résultat obtenu, quant à la fréquence de la respiration avec celui que nous donne la spirométrie, il sera difficile de ne pas remarquer qu'il y a entre les deux une relation motivée, que la *fréquence des inspirations est en raison inverse de leur amplitude*, de sorte qu'à mesure que cette amplitude augmente, la fréquence de la respiration diminue. L'augmentation de la capacité des poumons, sous l'influence de l'air comprimé, est la cause du ralentissement de la respiration ; ou, en d'autres termes, le ralentissement de la respiration est une conséquence nécessaire de l'augmentation de la capacité pulmonaire, puisque l'inspiration et l'expiration d'un volume d'air plus considérable demandent nécessairement plus de temps.

Puis, la profondeur :

On pouvait concevoir trois modes différents comme possibles. Ainsi, il pouvait s'établir entre la fréquence et la profondeur des inspirations une compensation,

par le fait que l'amplitude de la respiration pouvait être moindre que sous la pression normale, puisqu'il entre une quantité plus considérable d'air sous le même volume, et la fréquence de la respiration pouvait néanmoins être réduite aussi; ou bien, en second lieu, la compensation pouvait s'établir, par les mêmes causes, avec des inspirations moins nombreuses, mais conservant la même amplitude. Enfin, en troisième lieu, il pouvait y avoir, nonobstant l'apport d'une quantité d'air plus considérable, comme conséquence de la compression, un ralentissement et une augmentation de profondeur des inspirations. C'est cette dernière condition qui paraissait *à priori* la plus vraisemblable si l'on tenait compte de l'augmentation d'amplitude de la respiration, telle que nous l'avions constatée, et elle devait se réaliser surtout chez les personnes dont la capacité pulmonaire avait été pathologiquement diminuée.

Pour éclaircir ces difficultés, j'employai un appareil construit tout exprès, qui pouvait être fixé autour du thorax, et en suivait les mouvements d'inspiration et d'expiration, l'augmentation de la circonférence du thorax étant indiquée en millimètres par l'écartement de deux aiguilles mobiles. Cette augmentation plus ou moins considérable de la circonférence thoracique servait à mesurer la profondeur plus ou moins grande des inspirations. Dans chacune des trente-neuf expériences faites avec ce thoracomètre, la profondeur et le nombre des inspirations furent notés pendant quinze minutes consécutives, temps suffisant pour que l'influence de la volonté ou d'une petite erreur d'observation pût être négligée. Les expériences étaient toujours faites comparativement dans l'air atmosphérique et dans l'air comprimé; et comme la fréquence de mes inspirations était alors de 7,67 à 4,40 par minute, il fallait de cent quinze à soixante-six observations dans chaque expérience, faisant un total d'environ trois mille nombres concernant la mobilité du thorax.

La mensuration faite, comme il a été dit ci-dessus, permet de constater que chez moi, le premier jour d'expérience, l'expansion thoracique, c'est-à-dire l'augmentation de la circonférence thoracique produite par une inspiration ordinaire était, sous la pression normale de 12c39mm, au commencement de la pression maximum 15,68; après une heure de cette même pression 17,22; et au retour, sous la pression normale 18,14, tandis que la fréquence des inspirations avait été en diminuant de 7,67 à 6,07, 5,80, et jusqu'à 5,60; il s'était donc produit sous l'influence de l'air comprimé une *diminution progressive de la fréquence en même temps qu'une augmentation progressive de la profondeur des inspirations*, laquelle continuait même au retour de la pression ordinaire. Le lendemain, l'expansion thoracique sous la pression normale était de 14,92 ; le troisième jour, de 17,84 ; le cinquième jour, de 18,98 ; quinze jours plus tard elle était montée à 21,86, pendant que le nombre des inspirations sous la pression atmosphérique était descendue respectivement de 7,67 à 7,07 ; 6,40 ; 6,53 ; 5,00 par minute, et que la capacité respiratoire s'était au contraire élevée de 3350cc à 3400, 3474, 3498, 3644.

Les expériences faites sur MM. de K... et le docteur M... donnèrent le même résultat. Chez ce dernier, la fréquence des inspirations était tombée pendant une seule expérience dans l'air comprimé de 7,6 à 6,5 par minute, tandis que son expansion thoracique était montée de 19,28 à 23,02mm, et sa capacité respiratoire était également montée de 4159 à 4280cc. Ce résultat prouve que *sous l'influence de l'air comprimé la profondeur des inspirations ainsi que la capacité des poumons augmentent, tandis que, dans un rapport inverse, la fréquence des inspirations diminue.*

L'*expansibilité* du thorax, telle qu'elle a été examinée jusqu'ici, n'est que celle

qui correspond à une inspiration *ordinaire*, non modifiée par la volonté, et telle qu'elle se produit comme *effet de l'influence prolongée de l'air comprimé.*

Toutefois, les modifications déjà signalées faisaient prévoir aussi un changement dans les conditions des inspirations volontaires, changement à constater par l'augmentation de la circonférence totale et de l'expansion volontaire du thorax avant et après l'action prolongée de l'air comprimé. Si la capacité des poumons avait réellement augmenté, les dernières mensurations devaient indiquer une augmentation dans la circonférence du thorax, non-seulement lors des plus grandes expirations, mais aussi lors des inspirations les plus profondes; et si par un séjour prolongé dans l'air comprimé on avait acquis la facilité d'une respiration habituellement plus vigoureuse, l'expansibilité maximum du thorax devait aussi avoir augmenté. Ce résultat aussi est constaté par des chiffres. Ma circonférence thoracique ayant été, le 30 avril, après la plus profonde inspiration, de 85 centimètres, était le 1er septembre de 86,5 ; et après la plus forte expiration, elle était le 30 avril de 77c, et le 1er septembre, de 78c ; de sorte que mon expansion pulmonaire était, le 30 avril, de 8 centimètres, le 1er septembre de 8c,5.

L'*augmentation générale de la capacité des poumons*, telle qu'elle a été constatée par le spiromètre et *l'augmentation du diamètre vertical des poumons*, telle que la percussion a permis de la déterminer, reçoivent un complément de démonstration par *l'augmentation de la circonférence thoracique.*

Enfin, les rapports des temps respiratoires :

L'*inspiration* se fait plus facilement, étant favorisée par l'augmentation de pression, par l'extensibilité du tissu pulmonaire et par la compressibilité des intestins, tandis qu'il faut plus de force pour l'expiration afin de contracter les poumons plus distendus et de chasser la quantité plus considérable d'air expiré. C'est pourquoi l'*expiration* se fait avec plus de peine et plus lentement que dans l'état normal. Pendant que sous la pression atmosphérique, la durée de l'inspiration est à celle de l'expiration à peu près comme 4:5, ce rapport devient dans l'air comprimé à peu près comme 4:6 4:7, même 4 : 8 et 4 : 11.

Cependant la résistance à l'expiration se trouve en partie compensée par la contraction plus puissante des muscles abdominaux que la compression soutient dans leur action. Par l'effet de cette contraction, la première moitié de l'expiration se fait vite et avec énergie; mais la seconde moitié se fait si lentement et d'une manière si peu perceptible qu'il en résulte une espèce de pause entre l'inspiration et l'expiration. Cette pause qui doit en tous cas être ajoutée à l'expirationet dont la durée a été, selon mes observations, de deux à six secondes, est d'autant plus longue que les inspirations sont plus rares.

Vivenot a essayé d'exprimer ces diverses modifications du rhythme respiratoire par le graphique schématique suivant (fig. 9), que j'emprunte à son grand ouvrage (p. 251), et dans lequel la ligne pleine indique les respirations normales, et la ligne pointillée la respiration sous l'air comprimé, le tout pendant cinquante et quelques secondes.

Circulation. — Le mémoire publié par Vivenot en 1865 dans les archives de Virchow contient des indications détaillées sur les modifications qu'a présentées son pouls sous l'influence de la com-

pression. Ces explications sont accompagnées de nombreux graphiques obtenus à l'aide du sphygmographe de M. Marey; je reproduirai les plus caractéristiques :

Un regard rapide, jeté sur les courbes exposées ci-après, montre que celles-ci, sous l'influence d'un air comprimé subissent de remarquables modifications dans leurs figures primitives; une attention plus profonde montre que toutes les par-

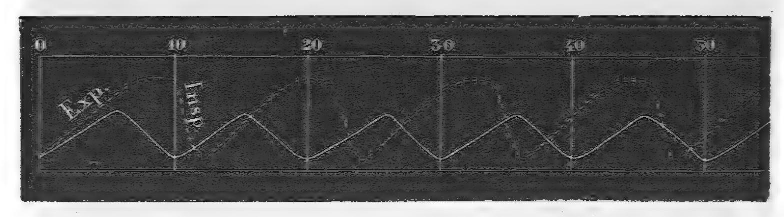


Fig. 9.

ties de la courbe sont si essentiellement changées que leur analyse demande une dissection pénétrante des segments isolés de la courbe.

Nous voyons que dans toutes les ondulations sans exception, sous l'action de l'air comprimé, la hauteur de la courbe décroît. La ligne d'ascension, plus ou moins abrupte primitivement, devient plus oblique; le sommet paraît plus arrondi, et, par suite de l'amoindrissement de l'amplitude, la ligne de descente, encore moins abrupte, à la fin s'infléchit en forme d'onde qui se transforme en une droite plus ou moins convexe. Par suite de la diminution de la hauteur de l'ondulation, l'angle figuré par la rencontre de la ligne ascendante et de la ligne descendante de la pulsation écrite et qui sous la pression atmosphérique normale mesure environ 45° est notablement émoussé; comme aussi, par suite de la direc-



Fig. 10.

tion plus oblique de la ligne d'ascension, la pointe au sommet de la courbe se prolonge plus en arrière... de sorte que la courbe dans son entier affecte la forme d'un segment de sphère.

Les changements que nous venons de décrire sont proportionnels à la force de la pression de l'air et à la durée du séjour dans l'air comprimé et par conséquent d'autant plus marqués et plus intenses que la pression de l'air a été portée plus

[1] Dans ces quatre figures la lettre *a* désigne le tracé sphygmographique obtenu sous la pression normale; *b* est le tracé pendant que la pression augmente dans l'appareil; *c*, pendant le stade de compression constante; *d*, après le retour de la pression normale. Fig. 11, a_1, est pris pendant que la pression augmente; c_1, pendant qu'elle diminue.

haut, et le séjour dans l'appareil plus prolongé. Nous trouvons donc que les signes produits après vingt minutes de pression maximum, c'est-à-dire l'obliquité visiblement apparente de la ligne d'ascension, le rapetissement de l'ondulation, l'aplatissement arrondi du sommet, et la transformation de la ligne onduleuse de descente en une ligne droite ou en une simple ligne convexe prennent après une heure et demie, c'est-à-dire après une heure d'exposition à la

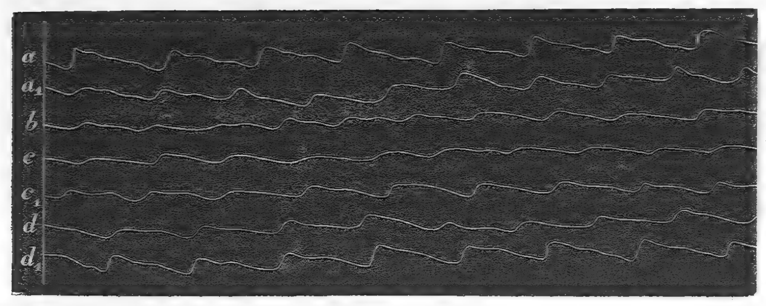


Fig. 11.

pression maximum constante, un caractère encore plus accusé, si bien que le tracé du pouls finit par ne plus présenter pour ainsi dire qu'une ligne droite.

Par le retour à la pression atmosphérique normale, immédiatement après la séance, la courbe reprend son intégrité, ou ne revient que partiellement à l'état primitif, ou, ce qui n'est pas rare, le changement, une fois commencé dans l'apparence de l'ondée sanguine, subit un mouvement de descente. La figure 6 exprime toutes ces diverses phases.

Dans aucun cas, il ne m'est arrivé de trouver durable ce changement de la courbe, mais cette action, d'accord avec les résultats obtenus par nous pour la

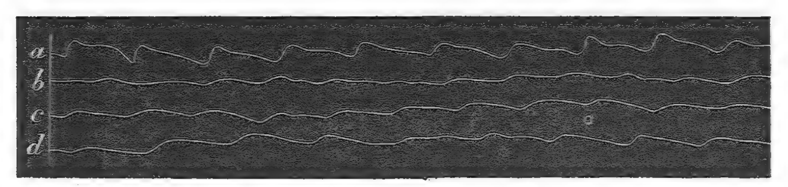


Fig. 12.

fréquence du pouls, se prolonge dans les cas favorables pendant un petit nombre d'heures. La courbe *d*, de la figure ci-dessus fournit un exemple d'une courbe se relevant et regagnant sa forme primitive non pas immédiatement, mais vingt minutes après le retour à la pression normale.

Pour établir la vérité de l'assertion que nous avons acceptée déjà, que la trace restante après la séance d'une action sur le tracé s'éteint déjà après une durée de plusieurs heures, on peut se servir de courbes obtenues sur moi-même le 26 mai, jour où j'avais accompli deux séances d'expériences dans l'air comprimé. Si nous comparons la courbe obtenue ce jour-là avant la première séance, à huit heures du matin (fig. 12, *a*), avec la courbe correspondante de la deuxième séance,

c'est-à-dire prise à deux heures et demie de l'après-midi (fig. 13, *a*), on ne peut reconnaître aucune différence essentielle entre ces deux tracés du pouls. Il ne reste plus de trace sensible après cet espace de quatre heures et demie de l'influence encore remarquable à dix heures sur la courbe *b* de la figure 7; à plus forte raison ne faut-il pas chercher la persistance de cette action d'un jour sur l'autre.

Maintenant, pour pouvoir saisir la valeur des différences trouvées jusqu'ici nous devons nous représenter les divers éléments des courbes comme l'expression de ces changements.

Le choc à ligne ascendante qui coïncide avec la systole du cœur est produit par l'ondée sanguine chassée en avant par la contraction du cœur, ondée qui, tendant à fuir dans toutes les directions, va presser en partie le sang du courant et exerce en partie une pression excentrique sur les parois des vaisseaux qu'elle élargit. La partie ascendante de la courbe (ligne d'ascension) correspond donc à la diastole artérielle. Plus l'écoulement du sang se fait facilement dans les capillaires, plus celui-ci est transporté vite dans les artères, et plus le cœur revient facilement sur lui-même, puisque la pression du sang représentant la résistance opposée à la systole du cœur en devient plus faible. Il est connu que tout muscle se contracte d'autant plus facilement et plus vite que l'exécution de ce mouvement demande moins de dépense de force. Par conséquent, en pareil cas, l'expansion artérielle se fera en d'autant moins de temps; et si le temps à partir du moment de la montée de la pression du sang jusqu'à son maximum d'élévation est très-petit, cela trouvera son expression dans l'escarpement de la ligne ascendante de la courbe; et même si la durée du temps est si courte qu'elle ne peut être mesurée, alors la ligne d'ascension paraîtra complétement verticale, comme c'est presque toujours le cas dans l'état normal.

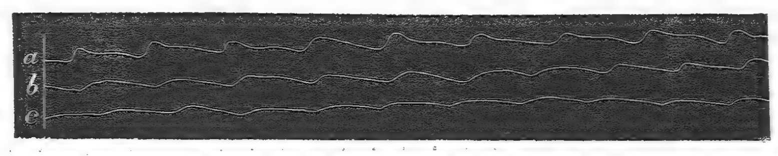


Fig. 13.

Lorsque, au contraire, sur les tracés obtenues dans l'air comprimé, nous observons que la ligne d'ascension devient oblique, il en résulte pour nous que la résistance qui s'oppose au flot sanguin poussé par la systole du cœur, a augmenté en même temps que l'écoulement du sang est arrêté dans les capillaires; que par suite la systole du cœur est moins rapide, que le flot sanguin arrive lentement aux artères, et que par suite aussi la dilatation des artères ne se fait pas brusquemeut, mais progressivement.

Le sommet de la courbe que nous ne voulons pas considérer comme un point mathématique, mais comme la convergence des lignes ascendante et descendante, nous montre le moment où l'artère, parvenue au maximum de sa dilatation par le sang qui la distend, résiste en vertu de sa contractilité propre à la pression du sang qui agit sur elle, et par son retrait imprime au sang une nouvelle impulsion.

Maintenant la résistance que le flot sanguin éprouve dans les troncs artériels éloignés du cœur, vient-elle à décroître un peu, alors l'écoulement du sang dans

le sens du courant, du cœur à la périphérie, devient facile et rapide, la pression du sang dans les artères s'abaisse rapidement; et celles-ci peuvent se resserrer rapidement. Plus cette disposition est marquée, et plus aigu se montre le sommet du tracé comme on peut le voir par exemple sur le pouls normal.

Le contraire a lieu dans l'air comprimé, et l'angle aigu primitif se change, comme nous avons vu, en un angle plus ou moins émoussé, et même en cintre, lequel cas a lieu, si par la notable obliquité de la ligne d'ascension, le point culminant suivant la verticale en arrive à couper juste au milieu de la courbe.

Par conséquent l'augmentation de résistance exprimée déjà dans la partie ascendante de la courbe, par son obliquité sous l'influence de l'air comprimé, s'est communiquée ou transmise aussi au sommet de la courbe (p. 557-560). .

. . . .

Le flot descendant de la courbe du pouls, qui correspond à la diastole du cœur, nous montre la décroissance de la pression du sang dans les artères, coïncidant avec la clôture des valvules semi-lunaires, et avec l'écoulement simultané des grosses artères dans les capillaires, c'est-à-dire les artères sortant victorieuses de leur combat contre la pression du sang, et grâce à leur élasticité, par la transformation de leur force d'expansion en force vive, pouvant se rétracter jusqu'à la limite minimum de leur calibre. L'apparence si différente de la ligne de descente, suivant qu'elle s'infléchit, qu'elle devient rectiligne, ou oblique, ou convexe, ou qu'elle tombe à pic, nous donne la mesure du plus ou moins de facilité avec laquelle le cours du sang s'effectue dans les capillaires. Les tracés de pouls obtenus à la pression atmosphérique normale, avant l'entrée dans l'air comprimé (tracés 1-XVII de Vivenot) montrent ce caractère d'oscillation plus ou moins accentué que le doigt ne ressent que dans les cas les plus prononcés e qu'on appelle dicrotisme et qui consiste en deux, et plus souvent trois oscillations de l'ondée. (P. 562.). . . . .

Tandis que nous avons trouvé le policrotisme comme particularité plus ou moins marquée du pouls normal à la pression ordinaire, il ressort de nos courbes comme effet de l'air comprimé que cette compression a pour effet de produire une disparition du policrotisme et une transformation de la ligne de descente ondulée en une ligne presque droite ou plus ou moins convexe.

Ainsi nous trouvons la preuve d'un tassement du sang dans les vaisseaux et d'un embarras de la circulation capillaire, aussi bien dans la ligne descendante de la courbe, que nous l'avions trouvée dans sa partie ascendante et son sommet.

Tandis que, comme Marey l'a montré et en a fourni un exemple par un tracé recueilli dans un cas de maladie du cœur (fig. 86 de Marey), le dicrotisme est d'autant plus grand que l'ondée envoyée par le ventricule est plus petite par rapport au calibre de l'artère, nous confirmons, de notre côté, cette proposition par rapport au dicrotisme, puisque, comme il appert de ce qui précède, les artères rapetissées par la pression extérieure, et par ainsi charriant très-peu de sang, se montrent néanmoins fortement remplies de sang relativement à leur calibre amoindri.

Avec le retour à la pression normale, reparaît aussitôt la figure primitive de la ligne de descente et la ligne simplement convexe reprend son précédent policrotisme ou bien la forme qui s'est produite se maintient encore quelque temps, pendant une ou deux heures, pour céder et reprendre peu à peu son apparence originelle (Voy. plus haut, fig. 6). . . . .

Dans notre analyse des tracés du pouls nous avons laissé de côté jusqu'ici une circonstance, nous voulons parler du changement qui n'est pas sans importance que subit l'amplitude de l Courbe sous l'influence de l'air comprimé.

Pour la clarté de la description, nous en avons reculé l'analyse jusqu'au chapitre de la force du pouls, plus justement désignée sous le nom de grandeur du pouls, qui se rapporte à la hauteur verticale de l'ondée sanguine, c'est-à-dire au maximum de la hauteur, et qui, d'après Marey, est proportionnelle à l'énergie de la pulsation. Comme nous l'avons conclu de l'accord du tracé des courbes que nous avons réunies jusqu'ici, l'amplitude du pouls est rendue plus petite par le séjour dans l'air comprimé, et perd souvent de 4/5 à 5/6 de sa hauteur primitive, de sorte que toute la série de pulsations tracées est changée souvent en une ligne où les ondes isolées sont à peine perceptibles.

Cet abaissement de l'amplitude est proportionnel à la compression de l'air et à la longueur du séjour dans l'air comprimé, aussi observe-t-on surtout le minimum d'amplitude à la fin du séjour dans l'air comprimé ; il arrive exceptionnellement qu'après le retour à la pression normale, l'amplitude reste stationnaire, pour revenir à l'état normal, après un long séjour sous la pression ordinaire. Il est également exceptionnel de voir l'amplitude, après avoir atteint son minimum, commencer à s'élever peu à peu pendant le stade de la pression maximum constante, sans toutefois atteindre à sa hauteur primitive.

Les changements que le pouls subit ici s'expliquent du reste et sont sensibles au tact, puisque dans la majorité des cas le pouls étant trouvé normal, avant l'entrée dans l'appareil pneumatique, se montre dans l'air comprimé presque insensible au toucher du doigt ; il est véritablement le *pulsus debilis*. Il est utile de faire observer à propos de ce dernier point, que les transformations décrites plus haut du pouls en un *pulsus longus*, comme nous en avons vu quelques-unes se produire dans l'appareil pneumatique, et qui sont observées du reste à la pression normale de l'air dans certains procès susmorbides, tels que les anévrysmes, les embolies, donnent une sensation trompeuse au doigt, de sorte que même alors que la hauteur verticale du pouls reste identique, comme Marey l'a observé (p. 243), le pouls paraîtra d'autant plus fort que l'ondée sanguine sera plus graduelle, ce qui est exprimé par la montée et la descente de la pression du sang dans les vaisseaux; mais puisque dans notre cas, dans l'air comprimé, l'abaissement de la force du pouls perçu par le tact est confirmé encore par l'amoindrissement de la hauteur verticale du tracé, il faut tenir pour certain l'amoindrissement de la force du pouls en soi.

Nous aurions maintenant à montrer la cause de cet amoindrissement de la force du pouls dans l'air comprimé, ainsi que cela résulte de nos recherches ; en première ligne, on pouvait bien penser à l'affaiblissement de l'action du cœur lui-même, comme à la circonstance occasionnelle de l'abaissement de la force du pouls dans l'air comprimé, affaiblissement peut-être produit par l'élévation de la résistance, que l'accroissement de la pression atmosphérique qui exerce une compression sur l'ensemble des vaisseaux périphériques, amène dans le système artériel ; à l'appui de cette supposition, on pourrait citer des faits qui ont été rapportés par moi dans une autre circonstance et dans un autre lieu ; en effet, l'inspection et la palpation du cœur en montrent l'impulsion plus faible ; l'auscultation du cœur donne un résultat identique, et le son paraît, pour ainsi dire, plus lointain.

Cependant ces faits ne démontrent et ne prouvent en aucune façon qu'un changement ait lieu dans la force d'impulsion du cœur, car, d'un côté, pour avoir une preuve presque certaine et démontrée du changement d'intensité de la contraction du cœur, nous éprouvons les plus grandes difficultés, et, d'un autre côté, l'affaiblissement de l'impulsion du cœur et des bruits du cœur, constaté dans le séjour dans l'air comprimé par la vue, la main et l'oreille, peut n'être qu'apparent ; et

comme je l'ai déjà montré dans la dissertation susdite, n'être qu'un simple effet d'un déplacement du cœur, produit par la compression de l'air et lié à l'agrandissement de la capacité des poumons et au passage, au-devant du cœur, de la lame antérieure du *poumon gauche*. (P. 564-567.). . . . .

. . . .

Nous ne nous sommes occupés jusqu'ici que de la figure de l'ondée isolée, sans tenir compte de l'ensemble des ondées successives, et cependant ce phénomène complexe demande quelques explications.

Tirons du commencement à la fin, à la base de l'ondée ou à travers son sommet une ligne, alors que nous avons ce que Marey a appelé ligne d'ensemble (gemeinsame linie), qui peut nous donner des éclaircissements sur certains changements dans la pression du sang, et dans la distension des vaisseaux. Cette ligne qui, ainsi que nous l'avons dit, se comporte différemment suivant certains changements d'attitude du corps, peut présenter un changement total ou partiel dans sa figure et dans sa direction. Le premier cas se présente à la suite d'un changement de longue durée dans la pression du sang et dans la distension du vaisseau, et se reconnaît à une modification considérable de toute la ligne par rapport à la figure primitive du pouls, tandis qu'un changement fréquent de la pression du sang et de la distension vasculaire, comme cela a lieu par exemple sous l'influence d'une respiration irrégulière, trouve une expression dans des incurvations plus ou moins marquées et plus ou moins fréquentes, dans une série d'élévations et d'abaissements de la ligne du pouls. Maintenant, comme cette ligne, d'après Marey, indique qu'un obstacle à l'écoulement du sang augmente la distension dans le système artériel en un point quelconque, nous avions à rechercher si cela se produisait dans l'air comprimé par suite de la compression des vaisseaux superficiels, et si l'obstacle ou la gêne reconnus par nous dans la circulation artérielle au changement de la ligne d'ascension, produisait aussi un changement dans notre ligne d'ensemble, et trouvait son expression dans son élévation (ascension oblique de toute la ligne), dans l'air comprimé.

Après avoir dans ce but assujetti l'instrument, d'après les régles établies dans nos précédentes expériences faites à l'aide du sphygmographe, et disposé les choses de telle façon que le stylet enregistreur fût placé juste au milieu de la bande de papier, à une distance égale du bord supérieur et du bord inférieur, et je recueillis ainsi à l'air libre. après avoir lâché le mouvement d'horlogerie, un tracé du pouls juste au milieu du papier; mais je ne trouvai plus la même chose en opérant dans l'air comprimé. Quoique l'instrument n'eût pas été enlevé, et qu'aucun changement ne se fût produit ni dans l'attitude du bras, ni dans la position de l'instrument, le stylet enregistreur, sous l'influence de l'air comprimé, subit un mouvement par rapport à sa situation primitive, et monta ; il monta même si haut, qu'il passa par-dessus le bord supérieur de la bande de papier, et qu'il fallut, par un léger mouvement de la main, l'abaisser au niveau du papier, pour prendre un tracé. D'après cette expérience, nous avons démontré : *pour l'artère radiale une élévation générale de la tension du sang et de la distension vasculaire indépendante de celle que l'on peut observer sur une pulsation isolée.*

Enfin quant à ce qui concerne l'influence des mouvements respiratoires dénoncée par les incurvations en arcades de la ligne du pouls, elle est assez insensible et assez peu apparente pour passer inaperçue aux yeux d'un observateur superficiel. Elle n'est très-apparente que lorsqu'on fait de profondes inspirations, et qu'il y a une gêne dans la respiration.

Par suite de changements survenus dans la grandeur du thorax par les inspirations et les expirations d'une part, d'autre part, par suite des mouvements

d'élévation et d'abaissement du diaphragme, qui rétrécit on agrandit alternativement la cavité abdominale et la cavité thoracique, et par suite du changement de distension qui en résulte pour l'abdomen, il se produit alternativement dans l'aorte thoracique et dans l'aorte abdominale une pression plus forte ; il en résulte pour ces vaisseaux une distension variable qui se communique consécutivement aux artères éloignées.

Par là, ainsi que je l'ai montré ailleurs, sous l'influence de l'air comprimé, on observe un ralentissement de la fréquence de la respiration qui, entretenu par la continuation journalière de cette même influence de la pression de l'air, s'accroît de jour en jour jusqu'à un certain chiffre ; du reste, la respiration est plus facile dans l'air comprimé ; elle devient plus tranquille et plus complète ; et l'on calme ainsi quelques troubles respiratoires. Ainsi, là où, à l'air libre, l'influence de la respiration se faisait sentir sur la courbe du pouls, cette influence devait s'affaiblir dans l'air comprimé, c'est-à-dire que les courbures et les cintrages de la ligne du pouls devaient, sous cette influence, diminuer de fréquence et d'intensité, comme du reste on peut le voir à la figure 9, qui, prise le 1er mai sur un *emphysématique* âgé de 44 ans, en *a* à la pression normale, montre de remarquables inflexions aux courbures dans lesquelles s'inscrivent les pulsations, et qui trahissent

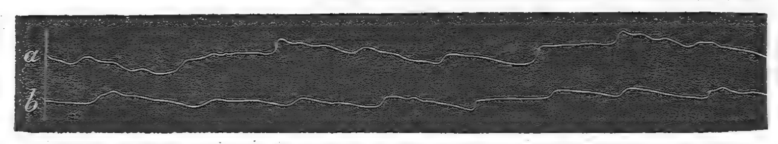


Fig. 14.

une forte gêne de la respiration, tandis que sous l'influence de l'air comprimé en *b*, l'intensité de l'ondulation a baissé si notablement, que la ligne du pouls se rapproche presque de l'horizontale, et que en même temps il y a un plus grand nombre de pulsations, pour une respiration qu'en *a*, par quoi se marque l'apaisement de la précédente gêne respiratoire.

L'existence de ce changement dans la courbe respiratoire sous l'influence de l'air comprimé peut être considéré comme étant la règle, et l'on trouve rarement l'état contraire. (P. 578-580.)

Quant au nombre des pulsations, Vivenot résume dans les termes suivants 423 observations faites sur lui-même :

Le matin, entre 6 et 7 heures, en me réveillant, j'avais 65,22 pulsations. Après avoir déjeuné dans le lit, ce nombre s'élevait à son maximum, 81,20 ; au moment d'entrer dans l'appareil pneumatique, il n'était plus que de 79,03. Sous l'influence de l'air comprimé, il s'abaissait entre 75,43 et 71,66 ; au retour à la pression normale, j'avais encore 72,41, et dans le cours de la journée mon pouls ne remontait pas au chiffre antérieur à l'entrée dans les appareils.

Cet abaissement du pouls dans l'air comprimé a été constaté 375 fois dans mes 423 observations ; 18 fois il n'y a eu aucun changement ; 30 fois, un accélération du pouls. (P. 532.)

Vivenot a vu l'injection des vaisseaux de la conjonctive disparaî-

tre totalement ou partiellement par la compression. L'examen de la rétine lui a aussi montré, chez un individu soumis à l'atropine, que les vaisseaux de l'œil se vident de sang dans l'air comprimé.

Il a fait, en outre, sur un lapin blanc apprivoisé, cinq observations directes relativement aux modifications de la circulation dans les oreilles et la conjonctive. Je reproduis les détails qu'il a donnés à ce sujet, parce qu'ils ne me semblent pas justifier les conséquences qu'il en a tirées, et qu'on a acceptées d'après lui.

I. — (*a*). *Pression normale :*

Le lapin tranquille et libre. Les oreilles dressées, gonflées de sang. Les vaisseaux de la conjonctive injectés. L'iris et particulièrement la pupille très-colorés en rouge.

(*b*.) *Pendant l'augmentation de pression :*

Vaisseaux de la conjonctive plus minces et plus pâles. Décoloration de l'iris et de la pupille.

(*c*). *Pendant la pression constante maximum :*

Par transparence, les vaisseaux des oreilles vides de sang ; les plus gros sont à peine visibles ; peu après, l'oreille est toute pâle et flasque et les vaisseaux ont complétement disparu.

(*d*.) *Pendant la diminution de pression :*

L'oreille et la conjonctive restent pâles.

(*e*.) *Sous la pression normale, immédiatement après la séance :*

Après la séance, et même une heure après, les oreilles sont vides de sang, pâles et flasques.

II. — (*a*.) Les vaisseaux des oreilles sont modérément injectés.

(*b*.) Au commencement, une plus forte injection des artères et des veines de l'oreille ; plus tard l'iris pâlit d'abord et se décolore ensuite.

(*c*.) Les oreilles restent pâles ; l'iris est plus sombre ; la pupille plus rouge.

III. — (*a*.) Les vaisseaux des oreilles sont modérément injectés ; l'iris et la pupille sont d'un beau rouge.

(*b*.) Gonflement des vaisseaux et particulièrement des veines des oreilles, dont les plus grosses sont dilatées.

(*c*.) Au commencement, aucun changement appréciable dans la couleur de l'iris et de la pupille. Alternativement les vaisseaux de l'oreille pâlissent subitement et se remplissent de nouveau ; pourtant quelque temps après, ils sont définitivement pâles et restent vides de sang.

(*d*.) Les oreilles sont toujours pâles et flasques.

(*e*.) Les oreilles sont encore, quelques heures après la séance, toutes vides de sang, pâles et flasques.

IV. — (*a*.) Longtemps avant la séance, les oreilles sont assez vides de sang.

(*b*.) Les vaisseaux des oreilles sont alternativement injectés et pâles ; enfin ils restent pâles.

(*c*.) A cause de la trop grande obscurité régnant dans l'appareil, la couleur de la pupille ne peut être observée.

(*d*.) Les oreilles toujours pâles.

(*e*.) La pupille semble devenir rouge foncé. Les oreille se remplissent fortement de sang.

V. — (*a*.) La conjonctive injectée à des endroits isolés. Les vaisseaux de l'oreille modérément injectés.

(*b*.) L'injection de la conjonctive et des vaisseaux de l'oreille disparaît en partie.

(*c*.) Vaisseaux de l'oreille et de la conjonctive tout à fait disparus ; les oreilles pâles ; parfois injectées en un clin d'œil. A cause de l'obscurité croissante, la couleur de la pupille et celle de l'iris ne peut pas être déterminée.

(*d*.) L'oreille et la conjonctive restent pâles ; à la fin, on ne peut apercevoir aucun vaisseau. (P. 587.)

Ainsi, conclut Vivenot, sous l'influence de l'air comprimé le sang diminue dans les vaisseaux de la périphérie du corps.

Après les détails que je viens de rapporter sur les modifications des deux grandes fonctions physiologiques de la respiration et de la circulation, modifications qui sont à la fois les plus importantes et les plus faciles à constater, je crois qu'il sera suffisant de reproduire le résumé que Vivenot donne lui-même de toutes ses observations. Malheureusement, l'indication des faits y est intimement mêlée aux idées théoriques que l'auteur s'était faites pour les expliquer, en telle sorte qu'il serait impossible de les en séparer; mais les difficultés qui résultent de cette confusion s'éclairciront à la lecture du chapitre suivant.

Résumé des phénomènes physiologiques.

1. Impressions dans l'oreille . . . .
2. Le changement du son de la voix, les sons émis augmentent de hauteur; la prononciation difficile, le sifflement impossible, parfois un léger bégayement.
3. L'odorat, le goût et le toucher perdent de leur acuité.
4. La pression négative à l'inspiration et la pression positive à l'expiration augmentent.
5. La convexité de l'abdomen diminue par la compression des gaz intestinaux.
6. Pour la même raison, le diaphragme et la base du poumon s'abaissent.
7. Le poumon, pendant l'inspiration comme pendant l'expiration, vient se placer devant le cœur.
8. D'où vient la diminution de l'impulsion cardiaque à la palpation et la faiblesse de ses bruits à l'auscultation.
9. La capacité vitale pulmonaire augmente. A 3/7 de compression, elle s'est agrandie en 1/2 heure, de 73^{cc},40 en moyenne, et en 1 heure 1/2, de 105^{cc},27, c'est-à-dire 3,30 p. c. de leurs dimensions primitives.
10. Par le retour à la pression normale, l'augmentation de la capacité pulmonaire diminue, le poumon ne reprend pas exactement son volume primitif.
11. Des séjours répétés amènent chaque jour une augmentation de la capacité pulmonaire; plus au début qu'à la fin. Après 3 mois 1/2 de bains d'air ma capacité pulmonaire vitale était devenue 743^{cc}, c'est-à-dire augmentée d'un quart sans aucune perte du pouvoir contractile du poumon.

12. L'habitude acquise par le diaphragme et le thorax persiste après la terminaison des expériences.

13. Ces augmentations n'ont pas seulement lieu pour les respirations extrêmes; elles se constatent dans la respiration régulière, et le diaphragme est là aussi plus bas qu'à l'état normal . . . .

14. La respiration devient moins fréquente. Le nombre des mouvements diminue de 1 à 4 par minute. Cet effet se prolonge un peu lors du retour à l'air normal.

15, 16, 17, 18. Répètent pour la fréquence ce qui a été dit de 10 à 13 pour la profondeur.

19. L'inspiration est plus rapide, l'expiration plus lente; la première partie de cette dernière est assez brève, mais la seconde devient tellement lente qu'il semble y avoir une pause.

20. La proportion d'acide carbonique contenue dans l'air expiré augmente; une respiration avec 3/7 d'atmosphère en sus contient en moyenne 22,26 p. c. plus d'acide carbonique qu'à la pression normale.

21. Cette augmentation n'est donc pas en rapport exact avec celle de la capacité pulmonaire, qui est de 3,3 pour cent.

22. Elle a lieu non-seulement pour les mouvements respiratoires forcés, mais dans la respiration tranquille.

23. En comparant cette augmentation d'acide carbonique avec la diminution de la fréquence respiratoire, on voit qu'il y a, en définitive, une plus grande quantité d'acide carbonique rendu et par suite d'oxygène absorbé.

24. De là vient qu'après une série de séjours dans l'air comprimé, le sang veineux paraît plus clair, la température du corps augmente (de 0°1 à 0°4), la force musculaire est plus grande, la faim se fait sentir, et, malgré une nourriture plus abondante, le poids du corps diminue par amaigrissement ; cependant, si la pression n'est pas trop forte et si l'on mange beaucoup, on peut au contraire engraisser.

25. La fréquence du pouls diminue de 4 à 7 dans une minute; cette diminution est encore plus marquée quand il y avait une accélération anormale.

26. Au retour dans l'air, le pouls reprend son rhythme normal.

27. Cependant, lorsque la fréquence du pouls était due à quelque difficulté respiratoire, un abaissement durable peut être la suite du traitement par l'air comprimé.

28. La diminution de la fréquence du pouls paraît être la suite de l'action purement mécanique de l'air comprimé; la pression augmentée à la surface du corps augmente les résistances que rencontrent les ondes sanguines passées par la systole du cœur; celle-ci devient alors plus difficile, d'où résulte la diminution du nombre des pulsations.

29. La courbe du pouls radial subit des changements de formes; sa hauteur diminue, la ligne d'ascension est moins raide, plus oblique, le sommet plus arrondi, la ligne de descente perd sa forme ondulée et devient droite ou légèrement convexe. Il y a donc diminution des vaisseaux, et par suite, de la quantité de sang qu'ils contiennent, augmentation dans la résistance à la systole du cœur, et difficulté plus grande dans la circulation capillaire.

30. Par le retour à l'air normal, le tracé reprend peu à peu sa forme primitive.

31. Le pouls radial paraît changé au toucher; il devient petit, filiforme, presque insensible.

32-33. Relatives à une expérience qui sera rapportée dans le chapitre suivant.

34. L'action du cœur dans l'air comprimé n'est pas plus forte ; mais on ne sait si elle diminue, bien que ce soit vraisemblable.

35. La courbe sphygmographique se tient, pendant que la pression augmente, au-dessus de celle qu'on a obtenue à l'air normal. Il y a donc, dans cette phase, une augmentation dans la pression totale du sang, du moins à l'artère radiale.

36. Des expériences faites chez des animaux, sur la pression du sang dans l'artère carotide, au moyen de l'hémodynamomètre n'ont donné aucun résultat. Il est vraisemblable que quand la pression de l'air est devenue constante, un nouveau degré d'équilibre est atteint, l'action du cœur devenue moins forte amène une diminutiondans le système aortique.

37. La diminution du calibre des vaisseaux de la conjonctive, de la rétine, de l'oreille des lapins, la décoloration de la pupille et de l'iris des lapins blancs, la pâleur des ouvriers qui travaillent dans l'air comprimé, prouvent directement le refoulement du sang de la périphérie vers le centre ;

38. De là viennent la diminution de la pression intra-oculaire, la contraction de la pupille, la moindre sensation du pouls dans l'oreille et la mâchoire, la membrane du tympan moins rouge, l'amélioration des érisypèdes, enfin l'affaissement des strumes scrofuleuses

39. Un manomètre placé dans la veine jugulaire a montré que la pression veineuse diminue dans l'air comprimé. (Vivenot n'a pas fait là-dessus d'expérience. Il s'appuie sur une expérience de Panum qu'il trouve lui-même insuffisante et mal conduite. P. 414.)

On n'a pas fait d'expériences directes sur l'influence de l'air comprimé sur les systèmes veineux et lymphatique. Mais il est certain qu'elle ne peut être qu'excitante ; de plus, la pression négative, qui est augmentée, agit encore sur le cœur et les grands vaisseaux.

40. La température, dans l'aisselle, augmente pendant que l'on comprime l'air, elle arrive à son maximum avec la compression. Pendant le stade de pression constante, il y a aussi une augmentation de la température dans le rectum.

41. Il résulte de nos expériences qu'une partie du sang est repoussé de la périphérie du corps ; l'organisme dispose donc d'une quantité de sang qui doit affluer dans les organes plus profondément situés, comme le cerveau, la moelle, les muscles, le tube intestinal, le foie, la rate, les reins, l'utérus. De là viennent pour le cerveau la pesanteur de tête, la surdité légère, les baillements ; pour l'appareil digestif, la faim, la température rectale augmentée ; pour les muscles, l'augmentation de la force musculaire, de la chaleur axillaire ; pour les reins, la plus grande quantité d'urine. Ces symptômes complexes, dans lesquels intervient encore le froid extérieur, ne s'exercent que dans les limites physiologiques.

42. C'est pourquoi la compression de l'air n'apporte aucun trouble important dans la circulation du sang, alors même qu'elle est poussée à 4 atmosphères 1/2.

43. On n'en peut pas dire autant du stade de décompression qui cause, quand on va trop vite, des troubles gênants et même très-dangereux dans la distributiondu sang.

44. Le séjour dans l'air comprimé est donc moins dangereux que le retour à l'air libre, qui cause des congestions, des hémorrhagies, des douleurs et surtout des troubles d'équilibre de diverses sortes dans le système circulatoire, qui même, par le développement de gaz dans le sang, peut amener un arrêt de la circulation et par suite une mort subite.

45. Le moyen à employer en présence de ces accidents est le retour rapide dans l'air comprimé. (*Zur Kenntniss*, etc. P. 489-495.)

La série des travaux de Vivenot fixa, sur les phénomènes curieux qu'il signalait le premier ou qu'il décrivait avec plus de précision que les auteurs précédents, l'attention des physiologistes et des médecins. Les publications se succédèrent rapidement.

C'est ainsi que Freud[1] observa une augmentation considérable dans sa capacité pulmonaire. Après 30 séances de bains, elle était passée de 3100^{cc} à 3600^{cc}; cet agrandissement persistait 5 mois 1/2 plus tard. Il n'y avait plus que quatre respirations par minute.

Elsässer[2], qui fit ses recherches dans l'appareil de Gmelin, à Stuttgard, crut pouvoir résumer les observations de ses prédécesseurs et les siennes, relativement au rhythme respiratoire, dans les propositions suivantes :

1° La valeur totale des mouvements respiratoires dans un temps donné est diminuée... ; 2° La diminution porte en partie sur la fréquence, en partie sur l'amplitude des mouvements ; plus la fréquence se rapproche de la normale, moins profondes sont les respirations ; si celles-ci sont très-rares, elles deviennent plus profondes ; 3° Par des inspirations très-fortes, il entre dans les poumons une plus grande quantité d'air qu'à la pression normale. (P. 26.)

Du reste, son mémoire paraît n'être qu'une sorte de résumé des travaux antérieurs de Vivenot. Il est particulièrement consacré à la thérapeutique.

Mais au premier rang des auteurs qui, après Vivenot, s'occupèrent de ces questions, il faut citer le professeur Panum. Le travail du savant Danois est exclusivement d'ordre physiologique[3]. Nous aurons à lui donner une place importante dans le chapitre suivant; ici, nous ne parlerons que des observations relatives aux phénomènes physico-mécaniques de la circulation et de la respiration.

Respiration. — Le premier phénomène dont il s'occupe est l'agrandissement de la cavité pulmonaire dans l'air comprimé :

La respiration est toujours plus profonde qu'à la pression normale. Cette action dure souvent pendant 24 heures et plus et augmente par la répétition des bains d'air. Chez une personne dont, à l'air normal, l'inspiration valait de 400 à 700^{cc}

[1] *Erfahrungen über Anwendung der comprimirten Luft.* — *Wiener Med. Press,* 1866.

[2] *Zur Theorie der Lebenserscheinungen in comprimirten Luft.* — Stuttgard, 1866.

[3] Le mémoire de Panum parut d'abord en danois, en 1866. Je cite d'après la traduction allemande publiée par l'auteur lui-même : *Untersuchungen über die physiologischen Wirkungen der comprimirten Luft.* — *Pflüger's Archiv f. Physiologie;* t. I, p. 125-165, 1868.

(en moyenne 480^{cc}), le premier bain de 35° de même l'avait fait passer de 650 à 800^{cc} (moyenne 750^{cc}); le second l'avait amené en moyenne à 900^{cc}.

La fréquence des mouvements était tombée de 13-14,5 à 11,5 par minute. (P. 153.)

Voici, du reste, un tableau qui exprime les modifications présentées par la respiration dans l'air normal et dans l'air comprimé, suivant différents rhythmes volontaires de la respiration :

	AIR COMPRIMÉ		PRESSION NORMALE	
	QUANTITÉ D'AIR DANS CHAQUE MOUVEMENT RESPIRATOIRE. EN CENTIMÈTRES CUBES.	NOMBRE DES MOUVEMENTS RESPIRATOIRES.	QUANTITÉ D'AIR A CHAQUE MOUVEMENT RESPIRATOIRE. EN CENTIMÈTRES CUBES.	NOMBRE DES MOUVEMENTS RESPIRATOIRES.
Respiration tranquille. .	631,8	13,5	563,5	14,2
Idem.	745,6	10,8	679,5	11,9
Respiration forte et profonde.	1326,4	8,4	1314,6	9,9
Respirations aussi fortes et aussi rapides que possible.	2301,6	6,4	1846,7	12,7
Respirations aussi lentes et faisant circuler aussi peu d'air que possible.	1216,4	4,2	930,3	5,8

Quant au rhythme respiratoire proprement dit, Panum affirme que « la durée relative de l'inspiration et de l'expiration est semblable dans l'air comprimé et à la pression normale. » Et il donne à l'appui de cette assertion, qui contredit ce que nous avons précédemment rapporté d'après Vivenot, un tracé des mouvements respiratoires enregistré directement.

Circulation. — Panum rapporte les observations de Vivenot et de Sandhal, et admet le ralentissement du pouls. Il tenta de faire des expériences sur deux chiens pour étudier les modifications de la pression manométrique du cœur ; mais elles ne donnèrent aucun résultat.

La diminution du cours du sang dans les capillaires est prouvée, selon lui, par ce fait qu'un mal de dent a disparu dans l'air comprimé. Cependant, les observations sur les conjonctives et les oreilles de lapins n'ont rien montré de net ; du reste, déclare-t-il, il y a là trop de causes de complications. Mais quelle est la cause prochaine de ces modifications dans les actes circulatoires?

La diminution du pouls et de la tension doit être due à une influence sur l'action du cœur. Cette influence est-elle une suite des changements respiratoires ? Dépend-elle de la pression qui s'exercerait sur les muscles et les ganglions du cœur ? Ou encore de quelque autre circonstance ? Je n'ose donner une opinion autorisée.

Le travail de G. von Liebig[1] contient le récit d'expériences faites à Reichenhall dans les appareils des frères Mack. La pression moyenne à Reichenhall est de 72 à 73 centimètres ; dans les appareils elle variait de 100 à 130 centimètres.

G. Liebig a constaté d'abord, après tant d'autres, que la respiration se ralentit dans l'air comprimé. Chez Kramer, l'une des personnes qu'il observait, elle est tombée de 10 à 7 par minute, et est restée à ce chiffre sous la pression normale : mais chez l'autre, Mack, l'un des propriétaires de l'établissement, qui avait l'habitude de l'air comprimé, la différence n'a été que de 43 à 41.

L'amplitude respiratoire a également été modifiée chez le premier sujet ; elle a passé $0^{lit},819$ à $1^{l},073$, pour rester à $1^{l},068$. Mais chez le second, le changement n'a été que de $1^{l},437$ à $1^{l},489$, et l'on peut le considérer comme nul.

Mayer[2] a fait des observations analogues sur une dame atteinte d'ascite, et sur lui-même :

Il constata les phénomènes habituels. Mais (au contraire de Vivenot) il trouva un ralentissement constant du pouls, qu'il explique par les résistances circulatoires augmentées (pression augmentée sur le cœur et les vaisseaux) ; la respiration fut aussi ralentie. La capacité vitale du poumon augmenta d'une façon sensible, qui sembla être persistante. La combustion augmentée éleva la température, chez la patiente, de 37°3 à 37°7.

Le travail de Marc[3] est plus intéressant, bien qu'il ne porte que sur une observation que le Dr Stachelhausen, atteint d'hémoptysie et d'asthme emphysémateux depuis 4 ans, a faite sur lui-même.

Après une cure d'un mois, une amélioration considérable s'était produite ; mais je n'ai pas à insister sur les détails pathologiques. Le fait le plus frappant de l'observation est la modification profonde apportée dans le nombre des pulsations cardiaques et des mouve-

[1] *Ueber das Athmen unter erhörhten Luftdruck. — Zeitschrift f. Biologie* ; Ve vol., p. 1-27, München, 1869.

[2] *Bericht über eine Versuchs-Sitzung in comprimirten Luft. — Petersburgh med. Zeitsch*, XII. Ext. *in* Gurlt's und Hirsch's Jahr. 1870, t. I, p. 210.

[3] *Beiträge zur Erkenntniss der physiologischen und therapeutischen Wirkungen der Bäder in comprimirten Luft. — Berlinen Klinische Wochenschift*, 1871, p. 249-251.

ments respiratoires; j'ai résumé les chiffres de l'auteur dans le tableau suivant :

		JUIN								JUILLET																				
		23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Pouls.	Hors de l'appareil. . .	80	78	76	80	80	72	80	80	90	80	80	80	88	80	78	76	80	80	78	80	80	78	80	80	80	76	80	80	80
	Dans l'appareil. . . .	64	60	60	68	68	68	75	74	76	70	76	76	75	75	68	66	75	80	72	76	68	68	68	72	68	70	65	68	68
Mouvements respiratoires.	Hors de l'appareil. . . .	24	24	20	20	20	17	18	18	18	18	18	18	16	16	14	15	14	16	16	16	14	14	16	14	14	14	14	14	14
	Dans l'appareil. . . .	12	12	13	12	13	13	12	12	12	12	14	12	12	12	12	11	10	12	11	12	11	12	11	11	12	12	12	10	10

Ainsi, deux choses sont à remarquer : d'abord la diminution brusque du nombre des pulsations et des mouvements respiratoires par l'action dans l'air comprimé ; la diminution du nombre de ces derniers, même à l'air libre, pendant la durée de la cure, tandis que les pulsations n'ont point changé.

La capacité pulmonaire mesurée au spiromètre a été augmentée de 550 c. c.

22 juin,	avant le commencement de la cure . .	1450	cent. cubes.
29 »	pendant la cure	1600	id.
8 juillet,	id.	1800	id.
15 »	id.	1900	id.
21 »	id.	2000	id.

Il est à regretter que Marc n'ait indiqué ni le degré de la compression de l'air, ni la durée du séjour de son malade dans les appareils.

CHAPITRE III

EXPLICATIONS THÉORIQUES ET EXPÉRIENCES.

Si les expériences et les théories que nous avons analysées en parlant de l'influence de la diminution de pression étaient nombreuses, variées, contradictoires, parfois bizarres et peu compréhensibles, du moins elles avaient pour but de répondre à une question unique: quelle est la cause des accidents de la décompression? Il en est autrement pour celles que nous allons résumer dans le présent chapitre, et leur exposition se ressentira nécessairement de la confusion dans laquelle sont tombés ceux qui les ont émises.

Les faits que nous avons rapportés jusqu'ici montrent qu'en effet les phénomènes présentés par les personnes soumises à l'action de l'air comprimé sont extrêmement divers et se présentent dans des conditions peu comparables, peut-être même absolument différentes. Il faut en effet, du moins lorsque la compression s'est élevée à un certain degré, tenir compte non-seulement de la phase de compression, mais de celle de dépression, dont les observations faites par les ouvriers eux-mêmes ont bientôt montré les influences périlleuses. Ce sont même ces dernières qui ont d'abord frappé l'esprit par leur étrangeté et leur gravité. Les modifications que l'air comprimé lui-même apporte dans les diverses fonctions physiologiques sont, dans les limites où l'on a observé jusqu'ici, fort peu considérables, et il a fallu même pour les constater une observation attentive, soutenue, aidée des ressources instrumentales qu'emploient de nos jours la physiologie et la pathologie. Quelques méde-

cins ont bien distingué les deux ordres de phénomènes, et tenté de les expliquer par des raisons différentes ; mais d'autres les ont confondus dans des théories communes, si bien qu'il ne serait pas possible de sous-diviser ce chapitre, comme, pour notre part, nous voudrions pouvoir le faire.

Ajoutons que les expériences de laboratoire, sur les animaux, ont été beaucoup plus rares que pour la diminution de pression. La raison s'en trouve aisément ; d'une part, en effet, le problème semblait beaucoup moins intéressant, puisqu'il ne touchait pas à des questions d'habitat transitoire ou permanent pour l'homme ; d'autre part, l'appareil instrumental nécessaire est plus compliqué, plus coûteux, et les expériences ne sont pas sans présenter quelques dangers.

Le premier auteur dans lequel j'aie trouvé quelques indications théoriques sur la manière dont doit agir l'air comprimé sur les êtres vivants, est l'iatro-mathématicien Borelli, qui, dans son traité célèbre *de Motu Animalium*[1], inscrit la proposition suivante :

Prop. CXXV. — Causes vraisemblables de la suffocation qui se produit de différentes manières dans l'air épais et trop condensé.

Borelli confond ici, suivant les connaissances de son temps, l'action de l'air comprimé avec celui de l'air chargé de « particules éthérées, terrestres, aqueuses, huileuses, ignées, salines, etc. comme il arrive par la vapeur de charbon...... et dans la caverne du lac Agnanus Puteolis.....» Cependant, il consacre un paragraphe spécial à l'action de l'air « pur ramené au plus haut degré de compression, *ut in folle lusorio sit* » :

Je ne nierai pas, dit-il, qu'il ne puisse être dangereux à respirer, parce que les extrémités près des bronches et les délicates vésicules de Malpighi pourraient être distendues et déchirées par la trop grande élasticité, d'où résulteraient des troubles redoutables. De plus, le passage et la circulation du sang en seraient empêchés, parce que l'expiration ne pourrait plus que difficilement s'exercer à cause de la trop grande résistance de l'air ambiant. (P. 246.)

Borelli n'a pas fait d'expériences.

C'est dans les notes que van Musschenbroeck a ajoutées à la traduction des Mémoires de l'Académie *del Cimento*[2] que nous trouvons la première indication d'expériences faites sur des animaux soumis à l'action de l'air comprimé :

[1] *Pars altera.* — Rome, 1681.
[2] *Loc. cit.* — Collect. acad., partie étrang., t. I, p. 46-61 ; 1755.

Je rapporterai, dit d'abord le physicien hollandais, ce qui est arrivé d'animaux mis dans un air beaucoup plus dense que celui qui est vers la surface de la mer. M. Stairs enferma un rat dans un air deux fois plus dense; il y vécut pendant l'espace de cinq heures; cependant, après cinq autres heures, il mourut. Mais lorsqu'il eût mis un autre rat dans un air beaucoup plus dense, il observa qu'il était mort tout-à-coup. Il rapporte qu'une mouche, dans un air condensé qui faisait monter le mercure à soixante pouces au delà de son élévation ordinaire, se portait bien le troisième jour, et même s'envola; que cependant ses autres compagnes moururent.

M. Derham mit un moineau dans un récipient, où il condensait l'air; parce qu'il ne retint point l'air exactement, il répéta les condensations de temps en temps; le moineau vécut bien l'espace de trois heures; ensuite, étant mis en liberté, il paraissait n'avoir rien souffert. Ensuite il renferma une mésange et un moineau, il rendit l'air deux fois plus dense; après une heure ces oiseaux se portèrent de même que lorsqu'on les avait enfermés; ensuite ils commencèrent à languir, en deux heures de plus ils devinrent malades, et trois heures après ils expirèrent.

J'enfermai aussi un canard dans un récipient, où je rendis l'air trois fois plus dense que celui de l'atmosphère; il demeura cependant gai l'espace d'un heure, et il parut n'avoir souffert aucune incommodité.

Ensuite j'enfermai trois perches et une truite avec une grande quantité d'eau et en même temps avec quelques vers de terre vivants; je rendis l'air trois fois plus dense dans le récipient; prolongeant l'expérience pendant six heures, j'observai les choses suivantes : la première heure tous les petits poissons nageaient très-bien, prenaient souvent un nouvel air sur la surface de l'eau, et ne mangeaient cependant aucun ver; après une heure, la truite paraissait moins vive, et se tenait plus en repos; une demi-heure après elle secouait ses nageoires, elle était cependant le dos tourné en haut comme dans l'état naturel; les perches pendant ce temps-là, nageaient gaiement; cinq heures après, la truite ayant encore le dos tourné en haut, et étant couchée librement dans l'eau, était expirée; une perche devint plus tranquille; après la sixième heure, elle était aussi proche de la mort, mais elle était couchée sur le fond le dos tourné en haut; ensuite ayant ouvert le vaisseau et laissé sortir l'air, les deux perches étaient en vie et très-gaies: mais les deux poissons morts surnageaient couchés sur le dos; les vers pendant tout ce temps avaient vécu sous l'eau, et, en étant tirés, ils n'étaient pas peu languissans. Cette expérience a été faite le 10 novembre 1730.

J'appelle l'attention sur les curieuses conséquences que Musschenbroeck tire des expériences qu'il vient de rapporter :

Il suit de ces expériences que les animaux peuvent vivre plus longtemps dans un air condensé que dans l'air naturel, sans être renouvelé; car quoique les animaux enfermés consument un peu d'air, on diminue une portion de son élasticité; néanmoins dans un air condensé il reste assez d'air, et l'élasticité est assez grande : en sorte que dans l'inspiration, les vésicules des poumons s'étendent bien et facilement, et le sang circule très-librement dans les artères et les veines du poumon. Cependant les animaux meurent enfin dans cet air condensé; mais quelle en est la cause? Ce n'est point le défaut de l'air, ce n'est point la perte de son élasticité; car le mercure fait voir à l'index qu'il en reste encore assez. Mais ou ils meurent, parce que les exhalations du corps de l'animal sont nuisibles à

ses poumons, ou à sa vie, ou parce qu'il y a dans l'air quelque chose de consumé qui est nécessaire à l'entretien de la vie, et qui doit être continuellement mêlé dans le sang. Cette dernière considération peut cependant à peine avoir lieu, puisque le célèbre M. Boerhave a prouvé par des arguments invincibles, qu'aucun air inspiré dans les poumons ne peut passer des véscicules dans les vaisseaux sanguins : c'est pourquoi il nous reste à conclure que les particules que nous transpirons nous sont nuisibles, et que celles qui sortent des autres animaux leur sont aussi nuisibles et agissent comme un poison ; et de là nous comprenons pourquoi les plongeurs enfermés dans une cloche, un tonneau ou autre vaisseau, doivent toujours être rafraîchis d'un nouvel air, afin qu'ils respirent commodément ; ensuite pourquoi les mineurs, qui travaillent dans des mines profondes, sont pressés d'inquiétude, si on n'envoye continuellement un nouvel air dans les mines, par les moyens des soufflets ou quelques autres ventilateurs. (P. 58.)

Haller[1] a donné place dans sa physiologie aux faits expérimentaux et à ceux qu'avait déjà révélés l'observation des cloches à plongeur; il les explique de la façon suivante :

Si l'air est rendu plus dense..... le sang qui coule dans les vaisseaux plus comprimés et plus denses eux-mêmes, y éprouve plus de frottement ; cet air gonflera mieux les poumons, et apportera au cœur gauche le stimulus qui le fera mieux contracter. . . . .

Un air dense est utile et augmente les forces du corps.... Des animaux ont pu vivre sans inconvénient dans de l'air réduit au quart et au huitième de son volume. Sous la cloche à plongeur, dans un air plus dense, on vit, et une respiration plus rare suffit. Un rat a vécu plus longtemps dans un air comprimé que dans l'air ordinaire. . . . .

Il y a pourtant des limites, au delà desquelles l'air comprimé nuit. C'est ce qui arrive dans la cloche à plongeurs ; dans laquelle, quand la profondeur augmente, l'eau entre et comprime l'air à nouveau. Alors la respiration est empêchée, le ventre est comprimé, l'air entre non sans douleur dans le méat auditif, les bras sont liés comme avec une corde, la membrane du tympan est parfois brisée et le sang sort par l'oreille et les narines ; enfin, le cœur éprouve de telles résistances, que le cours du sang en est presque supprimé, et on en a vu qui ont ainsi péri. Un rat mourut dans l'air réduit au vingtième de son volume. (P. 194.)

Des expériences analogues à celles de Stairs, de Derham et de Musschenbroeck furent refaites au commencement de ce siècle par Achard[2], qui les rapporte dans les termes suivants :

J'ai fait quelques expériences sur la germination des graines dans l'air comprimé. Le résultat en est que les graines germent d'autant plus vite, que ce fluide est plus comprimé ; la différence est considérable. J'ai fait en même temps des expériences sur la durée de la vie des animaux dans de l'air condensé à différents degrés, et j'ai trouvé que dans l'air trois fois plus dense que l'atmosphère, un

[1] *Elementa physiologiæ corporis humani.* — 3e vol., 1761.

[2] *Extrait d'une lettre de M. A. au citoyen Van Mons.* — *Ann. de Chimie,* t. XXXVII; 1801.

animal vit, sous circonstances d'ailleurs égales, et dans des volumes égaux d'air, cinq fois plus longtemps que dans l'air atmosphérique. Il est remarquable que lorsqu'on comprime subitement l'air jusqu'à une densité environ triple, l'animal tombe dans un état d'inaction et de sommeil léthargique, ce qui apparemment est une suite de la pression exercée sur le cerveau. Après que cet état a duré plus ou moins longtemps, l'animal reprend son activité naturelle, après quoi il tombe dans un état d'anxiété ordinaire qui augmente graduellement jusqu'à la mort. Il est encore remarquable que l'économie animale ne souffre pas de cet état de compression; j'ai tenu dans l'air réduit au quart de son volume, des oiseaux pendant une heure, et les ai remis ensuite à l'air libre; ils se sont très-bien trouvés, n'ont donné aucune marque d'incommodité. (P. 223.)

Brizé-Fradin, après avoir fait, comme nous l'avons vu, l'histoire des appareils à plongeurs, et rapporté les sensations qu'on y éprouve, cherche à s'expliquer ces phénomènes, et à se faire une idée nette de la situation dans laquelle se trouve, aux points de vue physique et physiologique, l'homme qui respire dans l'air comprimé. Le passage ci-dessous est véritablement très-curieux :

Le plongeur est placé dans un milieu qui comprime tout le système.

Comment se met-il en équilibre avec ces puissances combinées? Comment parvient-il à les surmonter?

La solution raisonnée se trouve dans les caractères et les propriétés de la force vitale. Il est nécessaire de considérer dans l'homme ce qui forme l'essence de la vie, c'est-à-dire cette force qui, souvent, modifie les lois de la nature, et les réduisent à ce qu'elles doivent être pour constituer la vie; elle est la loi primordiale de l'action, de la conservation et de l'harmonie des êtres organisés.

L'analyse ne permet pas de résoudre en ses éléments la nature de cette force vitale attribuée à un esprit substil, invisible; mais il suffit que son existence soit prouvée par ses propriétés, ses rapports constants. (P. 176.)

Il faut rendre à Brizé-Fradin cette justice qu'il ne se satisfait pas de cette vague déclaration, et que, non content de la métaphysique, il cherche à préciser les effets de cette force vitale sur le plongeur :

L'air plus dense, renfermé dans la cloche, applique aux poumons une quantité plus grande de gaz oxygène; il s'y produit immédiatement une somme de chaleur plus considérable : cet air, doué de la force du ressort, se précipite dans les poumons; l'organe respiratoire, dont les parois touchent de toutes parts à la plèvre, acquiert une capacité plus grande; le fluide ouvre les angles que les vaisseaux y forment et rend le passage du sang à travers leur substance plus libre et plus facile; il accélère la rapidité de la circulation, multiplie dans les fibres des muscles ces frottements intimes, causes puissantes de chaleur. Les releveurs, les intercostaux se contractent vivement; les côtes s'élèvent; le diaphragme s'abaisse; non-seulement l'équilibre est détruit, mais la puissance élastique de l'air est repoussée par cette énergie intime qui élève la contractilité musculaire au plus haut degré, et qui suit les effets de la caloricité.

On sait que la pression de l'air sur une surface est égale à une colonne d'eau de trente et un pieds; on a calculé que l'effet de la pression, par rapport à un homme de moyenne taille, équivaut à un poids de 36,000; mais cette pesanteur est contrebalancée, par la force vitale, par la réaction des fluides élastiques qui font partie de notre organisation. Comme les variations de l'atmosphère sont successives, elles nous affectent d'une manière peu sensible; mais s'il arrive un changement subit, la rupture d'équilibre influe d'une manière très-marquée sur l'économie animale; si l'homme s'élève à de grandes hauteurs il éprouve la gêne, la fatigue, l'assoupissement : ainsi, quand on voudra se rendre compte de la différence entre les effets du poids de l'eau et ceux de la force élastique de l'air condensé à une profondeur de soixante pieds, il faudra recourir encore à cette force inconnue quant à son principe, mais qui change, modifie les lois générales, et met dans la classe des vérités démontrées ce qui au premier aspect paraissait difficile à expliquer. (P. 177.)

On voit que sa tentative physiologique a été infructueuse, et qu'il lui faut revenir, pour expliquer, non les accidents, mais la résistance du plongeur, à « cette force inconnue quant à son principe, mais qui change les lois générales. » Il était vraiment inutile alors de se donner tant de mal pour essayer d'appliquer celles-ci.

Plus loin, signalant les deux inconvénients principaux de la cloche à plongeur, les douleurs d'oreilles et le confinement de l'air, Brizé-Fradin propose pour y remédier :

1° De mettre du coton dans le conduit auditif, pour imiter « le créateur, toujours sage dans ses œuvres, qui a distribué dans l'organe de l'ouïe ce cérumen qui... favorise l'harmonie des ondulations sonores » (p. 181) ;

2° D'introduire dans la cloche de l'oxygène à l'aide d'une pompe foulante « lorsque la mer a été mise à sec avec ces barillets à air »; mais il recommande « de n'en introduire que des quantités exactes et qui n'excèdent jamais le dixième de la masse d'air vital..... car l'excès produirait une sensibilité vicieuse et du désordre » (p. 183).

Je n'indique que pour mémoire le passage dans lequel Hallé et Nysten[1] parlent de l'action de l'air comprimé ; ils se contentent en effet de dire :

Dans les mines profondes, les effets qui dépendent de la compression de l'air seraient plus salutaires que nuisibles, à raison de l'augmentation de la quantité d'air sous le même volume. Ils rendraient la respiration moins fréquente, parce que chaque inspiration s'exercerait sur une plus grande masse de ce fluide.

La pesanteur atmosphérique augmentée semble devoir produire des effets moins sensibles que sa diminution et la pression qui tend à condenser toutes ses parties semble moins préjudiciable à notre organisation que leur expansion excessive.

[1] Art. *Air*, du *Dict. des Sc. méd.* — t. 1, p. 248, 1812.

C'est au même titre que je rapporte l'opinion de Jœger[1], qui ne paraît la baser sur aucune observation directe :

L'air condensé à un très-haut degré peut causer une mort subite, parce qu'il produit l'apoplexie sanguine avec hémorrhagie et empêche le retour du sang dans les parties supérieures et le cœur. (P. 97.)

Les expériences de Poiseuille[2] ont une tout autre valeur.

Au cours de ses recherches, si remarquables par l'esprit scientifique et la précision qu'il y apporte, cet auteur se demande si les variations dans la pression ont de l'influence sur la circulation du sang. Pour résoudre cette importante question, il fait usage d'un *porte-objet pneumatique* composé d'une boîte résistante, garnie de plaques de verre, et dans laquelle on peut augmenter ou diminuer la pression :

L'animal préparé de manière à voir la circulation capillaire est placé dans l'instrument, et l'appareil lui-même sous l'objectif du microscope ; on peut alors observer les modifications que peut introduire dans la circulation capillaire une pression ambiante plus ou moins considérable. Chez les salamandres, les grenouilles, leurs têtards, les très-jeunes rats et les jeunes souris, les circulations artérielle, capillaire et veineuse n'ont offert aucun changement en portant la pression, même brusquement, à 2, 3, 4, 6 et 8 atmosphères, et réciproquement. En outre, la circulation a continué à se faire avec le même rhythme sous une pression de quelques centimètres de mercure chez les salamandres, les grenouilles et leurs têtards. En plaçant dans l'appareil de très-jeunes rats, de très-jeunes souris (on sait que les mammifères, pendant les premiers jours de leur naissance, peuvent rester quelques heures sans respirer), on a pu voir par l'intégrité parfaite de circulation chez ces animaux alors placés dans le vide, combien était illusoire l'opinion des physiologistes qui pensent que, sans pression atmosphérique, il n'y a point de circulation possible; mais la pression atmosphérique, concurremment avec les mouvements respiratoires, sont des causes accessoires du cours du sang, ainsi que M. Poiseuille l'a démontré dans l'un de ses précédents mémoires.

Poiseuille, on le voit, s'occupe à la fois de l'inflence de l'augmentation et de celle de la diminution de pression sur la rapidité de la circulation ; il affirme qu'elles sont nulles.

Les explications de M. Maissiat[3] tendent aussi à viser simultanément les deux questions. Nous avons vu, dans le titre Ier (p. 245), qu'il fait jouer le principal rôle aux gaz intestinaux, dont le volume

[1] *Tractatus physico-medicus de atmospherâ et aere atmospherico.* — Cologne, 1816.

[2] *Recherches sur les causes du mouvement du sang dans les vaisseaux capillaires.* — *C. R. Acad. des Sc.*, t. I, p 554-560, 1835. — Ces diverses expériences sont exposées, avec détails, dans le mémoire du même auteur, inséré dans tome VII des *Mémoires des savants étrangers*.

[3] *Études de physique animale.* — Paris, 1843.

doit changer avec la pression aérienne. Après avoir considéré leur dilatation comme accélérant circulation et respiration, comme chassant le sang à la peau, il ajoute:

Il y aura lieu à effets inverses et retour du sang vers les vaisseaux des milieux profonds, si, au contraire, la pression extérieure à l'animal croît; l'effet sera médicalement sédatif, calmant de tout, de la respiration et de la circulation. (P. 254.)

Quelques années plus tard, Hervier et St-Lager[1] firent, à l'instigation de Pravaz, les premières expériences tentées dans le but de rechercher si les combustions organiques sont activées pendant le séjour dans l'air comprimé.

Les auteurs arrivent au résultat curieux formulé dans la conclusion suivante, résultat à l'appui duquel ils n'apportent du reste aucun chiffre; la méthode par laquelle il est obtenu et qui donne non la quantité d'acide carbonique exhalé, mais seulement sa proportion dans l'air expiré, est, je suis obligé de le déclarer, des plus défectueuses[2] :

Les quantités d'acide carbonique exhalé dans le bain d'air comprimé s'élèvent au-dessus des proportions de l'état normal jusqu'à la pression de 773 millièmes; au-dessus de ce chiffre, le poumon exhale moins d'acide carbonique qu'avant le bain.

Et voici l'explication peu claire qu'ils donnent de cette contradiction :

A une faible pression, l'effet chimique dominant l'influence mécanique, l'endosmose trouve dans les conditions de pression une circonstance favorable au développement des fonctions respiratoires sans que l'exosmose soit entravée par une pression trop forte..... d'où il suit une augmentation croissante dans l'exhalation de l'acide carbonique. A une pression plus forte l'effet mécanique neutralise et anéantit l'influence chimique, au point d'empêcher l'exosmose gazeuse dans le bain d'air, sans toutefois s'opposer à l'absorption des gaz.

C'est cet emmagasinement d'acide carbonique par le sang, sous l'influence de l'air comprimé, qui expliquerait, selon nos auteurs, comment :

Les bains d'air comprimé ont pour effet d'augmenter l'exhalation de l'acide carbonique au dehors du bain; cet effet, qui se prolonge plusieurs heures après leur administration, est plus sensible deux ou trois heures après qu'immédiatement après le bain.

[1] *Note sur la carbonométrie pulmonaire dans l'air comprimé. — Gaz. méd. de Lyon*, 1849, p. 168.

[2] Cette méthode est exposée dans un travail antérieur des mêmes auteurs, intitulé : *Recherches sur les quantités d'acide carbonique exhalé par le poumon à l'état de santé et de maladie.* — Ibid., p. 39-50.

Cela tiendrait à ce que :

La dilatation anormale des vésicules pulmonaires, par l'effet d'une pression suffisamment forte dans l'air comprimé, diminue le ressort et l'élasticité des organes respiratoires..... tandis que, lorsqu'au sortir du bain l'influence mécanique suspend son action, le ressort du poumon revient bientôt à son état normal, et par le fait de l'exosmose gazeuse qui n'est plus entravée, rejette au dehors, sous forme d'acide carbonique, tout l'oxygène qu'il avait absorbé dans le bain sous l'influence de l'endosmose.

Pravaz[1], dont nous avons déjà cité le livre (p. 433) après avoir énuméré les modifications favorables que le séjour dans l'air comprimé apporte à l'exercice de plusieurs grandes fonctions physiologiques, trouve à ces avantages notables trois causes d'ordre différent :

A. — L'amplitude des inspirations est augmentée pour deux raisons :

1° S'il est certain que, dans les conditions ordinaires de la vie, l'inspiration est loin d'avoir l'étendue que comporterait la disposition anatomique des parois thoraciques, on ne peut douter que chez un grand nombre de sujets, et particulièrement chez ceux qui, menant une vie sédentaire, n'ont besoin pour l'hématose que d'un conflit médiocre avec l'atmosphère, la rétractilité de tissu n'ait réduit notablement le *maximum* de capacité que peuvent acquérir les poumons sous la pression ordinaire, et par suite l'ampliation habituelle de la cavité pectorale ; dès lors, n'est-il pas manifeste qu'en augmentant cette pression et élevant ainsi à une plus haute puissance la force qui lutte contre la réaction du poumon, on doit étendre la limite supérieure de son développement propre, et consécutivement celle de l'expansion de la cage thoracique sous l'effort des muscles inspirateurs, effort qui devient promptement impuissant lorsque la tendance au vide, qui a lieu entre les deux plèvres pendant l'inspiration, dépasse une certaine mesure.

2° L'accroissement de la pression atmosphérique ayant pour effet de comprimer l'abdomen, d'augmenter l'élasticité des gaz intestinaux, et par suite leur réaction contre l'effort du diaphragme, ce muscle rencontre un point d'appui plus solide et change le mode de respiration le plus ordinaire, en obligeant les côtes et le sternum à prendre une plus grande part au mécanisme de cette fonction. A la vérité, la dilatation de la cavité thoracique, dans le sens vertical, se trouve ainsi diminuée ; mais cette réduction est plus que compensée par l'expansion de la poitrine, suivant ses diamètres antéro-postérieur et latéral, et, loin d'être moindre, le volume d'air introduit par chaque inspiration se trouve augmenté. En effet, dans le mode de respiration qui a lieu principalement par l'abaissement du diaphragme, la capacité de la poitrine ne s'accroît que suivant le rapport simple des diamètres verticaux successifs, mesurés latéralement, car la partie moyenne du diaphragme reste à peu près fixe ; tandis que dans la respiration costo-sternale, l'agrandissement de cette cavité a lieu dans le rapport composé

[1] *Loc. cit.* — *Essai*, etc. ; 1850.

du produit des diamètres horizontaux primitifs au produit des mêmes diamètres dilatés. (P. 11-12.)

B. — L'hématose est activée ·

Est-ce, comme on le croit généralement, parce que l'air comprimé contient, sous un volume donné, une plus grande quantité absolue d'oxygène qu'il active et perfectionne la sanguification? (P. 21.)

Pravaz oppose alors aux anciennes assertions d'Allen et Peppys les expériences récentes de MM. Regnault et Reiset, et il ajoute :

Si, entre ces assertions contradictoires, on inclinait pour la dernière, comme produite sous la garantie d'expérimentateurs réputés plus exacts, on ne serait pas embarrassé toutefois d'expliquer comment l'air condensé peut donner d'autres résultats que l'oxygène pur, ou présenté seulement en plus grande quantité à l'absorption pulmonaire.

En effet, c'est à la pression ordinaire que Lavoisier, MM. Regnault et Reiset ont recueilli leurs observations; or, on sait, d'après M. Biot, que la quantité, en poids, des gaz dissous dans un liquide croît proportionnellement à la pression que ces gaz supportent.

Il y a donc dans l'action de l'air condensé sur l'organisme un autre élément que la multiplication des molécules d'oxygène sous un volume donné; cet élément est une force mécanique supérieure à celle qui agit sur les gaz expérimentés à la pression ordinaire de $0^m,76$; cette différence entre les conditions d'absorption fait pressentir une différence correspondante entre les résultats fournis par l'inspiration de l'oxygène pur et celle de l'atmosphère simplement comprimé. (P. 23.)

L'expérience, selon lui, confirme cet aperçu de la théorie. Cette expérience est celle d'Hervier et St-Lager (p. 464) dont Pravaz accepte les conclusions, et dont il explique comme il suit les contradictions apparentes :

L'endosmose de l'oxygène, qui est l'office principal de la respiration, est favorisée par toutes les circonstances qui augmentent la solubilité de ce gaz dans le sang; or, l'accroissement de la pression atmosphérique est évidemment au nombre de ces circonstances, d'après l'expérience déjà citée de M. Biot; ainsi, dans l'air comprimé, il doit y avoir sursaturation du sang veineux par l'oxygène, mais ce phénomène ne peut se manifester immédiatement par une exhalation plus considérable d'acide carbonique, car l'exosmose de ce gaz est enrayée par la même force mécanique qui augmente l'absorption de l'oxygène.

Lorsque la respiration vient à se faire de nouveau dans l'atmosphère normale, la suroxydation des globules sanguins qui s'était produite pendant la durée du bain d'air comprimé ne peut manquer de donner lieu à des symptômes d'exaltation vitale, et à l'élimination en plus grande quantité du produit gazeux de la combustion du carbone, devenue plus active, puisque ce gaz cesse d'être soumis à la pression supérieure qui coerçait son expansibilité. . . . .

L'analogie conduit à penser qu'il en est de l'azote comme de l'oxygène. Son absorption plus considérable est-elle de quelque utilité pour la nutrition ? Je suis disposé à le croire, d'après les observations de Regnault et Reise sur l'absorption de l'azote de l'air par les animaux à l'état d'inanition..... en sorte que ce gaz..... semblerait destiné..... à suppléer, dans une certaine mesure, à l'alimentation par les organes digestifs. Si l'on admettait cette hypothèse très-plausible, on aurait une nouvelle donnée pour l'explication des bons effets obtenus par l'usage du bain d'air comprimé dans les cas où il y a langueur des fonctions digestives par atonie. (P. 28.)

C. — L'air comprimé facilite le retour du sang veineux au cœur.

Pravaz déclare d'abord que la compression diminue le nombre de pulsations artérielles : il l'a vu même réduit des 2/5, « surtout lorsqu'il existait un état fébrile antérieur. » Puis il insiste sur ce fait que l'aspiration « exercée par l'oreillette droite et la cavité thoracique » est une des causes les plus actives de la circulation veineuse, et il ajoute :

Le système capillaire, par suite de l'accroissment de la pression barométrique, devra se vider plus facilement dans les veines, car non-seulement l'action périphérique de la force qui comprime ce réseau, ainsi que les veines où il se décharge, est devenue plus énergique, mais encore la tendance au vide produite dans le péricarde et le médiastin pendant l'inspiration, et destinée à concourir avec l'effort concentrique d'impulsion vers le cœur, doit être plus prononcée. (P. 52.)

Le livre de Pravaz se termine par l'étude de l'influence favorable de l'air comprimé dans le traitement de la phthisie, du rachitisme, de la chlorose, de l'anémie, de la surdité, des congestions chroniques des centres nerveux, de différentes névroses.

Dans l'explication des succès nombreux qu'il enregistre à ce propos, Pravaz fait surtout intervenir la raison chimique tirée de la suroxygénation du sang, et de l'activité plus grande imprimée ainsi aux phénomènes de la nutrition. Mais il invoque également l'action mécanique, la pression de l'air condensé. Ainsi, en parlant de la guérison de la coxalgiepar le bain d'air comprimé, il dit, dans un ouvrage antérieur à celui que nous venons de citer[1] :

Dans l'air comprimé, on peut remplir l'indication de comprimer la tumeur de la hanche de la manière la plus uniforme et la plus inoffensive, puisque ce n'est plus seulement la tête articulaire qui est repoussée de dehors en dedans, mais

[1] *Mémoire sur l'emploi de la compression au moyen de l'air condensé dans les h darthroses.* — Lyon, 1843.

encore la capsule, faisant une saillie anormale au delà de ses insertions. Cette compression, dont l'effort sur l'aire correspondante à la cavité cotyloïde peut être évaluée à vingt kilogrammes par atmosphère, doit déterminer la résorption au moins partielle des liquides épanchés, comme on le voit dans les cas d'ascite et d'hydrocéphale lorsqu'on embrasse l'abdomen ou le crâne par un bandage plus ou moins serré. (P. 8.)

Plus loin, citant le fait d'une jeune fille guérie, par l'air comprimé, d'un torticolis « dû à une hyperhémie encéphalique », il déclare que c'est à la pression mécanique qu'est dû le dégagement du cerveau :

Le vide qui se fait sentir pendant l'inspiration dans les veines jugulaires, et qui y appelle le sang de la tête et du rachis, tend à se remplir d'autant plus rapidement que la pression extérieure est plus forte; et d'un autre côté, l'accroissement de cette pression doit opposer un plus grand obstacle au mouvement de reflux que l'expiration détermine dans les vaisseaux afférents; dès lors, on ne saurait s'étonner que le système capillaire de l'encéphale et de la moelle épinière, en communication avec les veines soumises à une sorte de succion devenue plus énergique que dans l'état normal, puisse se débarrasser de l'excès de fluide sanguin qui l'engorgeait. (P. 13.)

Pol et Watelle[1] sont les premiers auteurs qui aient tenté d'expliquer les accidents de la décompression, dont ils avaient aussi les premiers nettement déterminé le moment. Ce sont eux qui nous ont rapporté ce mot si caractéristique des ouvriers : « on ne paye qu'en sortant. »

Notons, en passant, comme une sorte de curiosité, l'idée émise par ces auteurs que « la densité insolite de l'air comprimé embarrasserait la progression », et que la difficulté à parler dans les cylindres, observée par eux, dépendrait également de « cette résistance inattendue à des contractions musculaires instinctivement mesurées par l'habitude ». (p. 250).

Arrivons maintenant à l'explication des accidents produits par la décompression. Les médecins de Douchy cherchent, selon leur expression, « à établir la signification des symptômes observés, à déterminer, en les interprétant, l'individualité nosologique qu'ils caractérisent ». Or, disent-ils :

Cette tâche est facile à remplir, ou plutôt elle est toute remplie.

En effet, si l'on excepte les douleurs musculaires, dans les cas du moins où, isolées, ne coexistant avec nul indice d'une souffrance des centres nerveux, elles étaient probablement produites par l'impression sur les capillaires de ce système, d'un sang trop richement oxygéné;

[1] *Loc. cit.* — Voir ci-dessus, p. 378.

Si l'on excepte aussi les accidents gastriques, qui tantôt ont semblé purement sympathiques, et tantôt, c'est notre sentiment, ont eu pour cause l'ingestion très-copieuse des produits de la combustion; il apparaît très-clairement que toujours ils ont été par-dessus tout l'expression d'un état congestionnel du cerveau et des poumons.

Nous ne nous évertuerons pas à démontrer, phénomènes en main, cette proposition à l'égard de laquelle l'autopsie de Héraut ne permet d'ailleurs aucun doute, et qui puisera une surabondante évidence dans les résultats d'un second examen cadavérique.

La congestion pulmonaire et cérébrale est donc la principale conséquence de la compression de l'air; c'est son aboutissant morbide le plus important, la source d'où découlent les indications thérapeutiques fondamentales.

Nous passons à dessein sous silence les congestions du foie, de la rate et des reins, constatées dans l'autopsie relatée plus haut, et qui se reproduiront dans la suivante; si ce n'est celle des reins qui ont donné lieu à une supersécrétion, elles ne se sont pas traduites symptomatiquement. (P. 259.)

Ainsi, les accidents graves éprouvés par les ouvriers sont la suite de congestions viscérales. Mais quelle peut être la cause de ces congestions mêmes? La compression, répondent-ils, en tant qu'agent d'ordre mécanique; c'est du moins ce qui ressort clairement du passage suivant :

Puisque, quand la pression atmosphérique diminue beaucoup, le sang se porte à l'extérieur et s'échappe des capillaires, il devrait s'ensuivre de la condensation de l'air des congestions viscérales, des hypérémies profondes. A influences contraires, effets opposés : *contraria contrariis.*

D'où cette conséquence, toute théorique encore, que si une pression de plus en plus considérable s'exerçait, on verrait à un degré actuellement indéterminable, au lieu des hémorrhagies périphériques provoquées par la rareté de l'air, survenir des épanchements intra-organiques, des apoplexies. (P. 272.)

Mais si c'est la compression même qui produit les congestions, comment se fait-il donc qu'elles ne manifestent leur redoutable effet qu'au moment de la décompression? Voici la curieuse réponse que font les deux médecins à cette objection qui pourrait paraître péremptoire:

Rasori pensait que les congestions sont constamment veineuses, et cela est hors de doute quand c'est un obstacle au retour du sang qui les occasionne. Mais en est-il de même lorsqu'elles sont sous la dépendance d'un afflux artériel; alors aussi l'arrêt circulatoire qui les constitue résiderait-il exclusivement dans les capillaires veineux; le sang noir, en un mot, comme le veut le médecin italien, serait-il en toute circonstance l'agent des congestions?

Les observations de M. Andral ne contredisent point cette opinion; elles l'autorisent, au contraire, puisqu'il en résulte que les tissus hypérémiés rouges au premier degré qui, selon M. Dubois d'Amiens, n'est autre chose qu'un mouvement fluxionnaire précurseur de la congestion, sont bruns au deuxième degré et noirs au troisième.

Or que, par hypothèse, on veuille bien admettre que c'est plutôt à l'action stupéfiante du sang noir qu'elles doivent d'être pernicieuses qu'à la compression provenant d'un abord exagéré, et il s'ensuivra que si l'inspiration d'un excès d'oxygène artérialisait le sang veineux, les congestions, selon le *quantum*, devraient perdre tout ou partie de leur nocuité.

Eh bien, c'est précisément ce qui est arrivé chez nos mineurs; d'une part, congestion sans accidents aucun; d'autre part, sang veineux rutilant.

Et comme contre-épreuve, quand l'agent de la rutilance était soustrait et son action éteinte ou amoindrie dans une certaine mesure, ce qui prenait un temps variable, accidents graves pouvant s'élever jusqu'au foudroiement.

Ainsi, les congestions qui résultent de la compression de l'air ne révèlent pas leur existence, tant que cette compression s'exerce.

La compression par conséquent porte en soi son correctif.

La décompression démasque, en quelque sorte les congestions; elle leur laisse sortir leur plein et entier effet; on pourrait dire que de latentes, de virtuelles, elle le rend effectives.

Partant de là, on conçoit qu'elle doit se montrer d'autant plus redoutable qu'elle est plus rapide, et qu'il suffirait probablement pour qu'elle devînt inoffensive de la pratiquer avec une grande lenteur, beaucoup plus lentement qu'il n'a été fait, à Louches, la plupart du temps. (P. 260.)

Ainsi, les médecins de Douchy font jouer à la suroxygénation du sang un rôle singulier à coup sûr, mais fort important. Il est curieux de voir, cependant, combien peu ils se faisaient une idée nette des conditions qui, dans l'air comprimé, déterminent cette suroxygénation. Parlant, en effet, des inspirations d'oxygène qui avaient été autrefois tentées, ils protestent contre toute assimilation entre l'emploi de ce gaz, et celui de l'air comprimé :

C'est autre chose, assurément, de respirer de l'oxygène pur, même de l'air oxygéné, ou de respirer de l'air simplement condensé, sans modification quantitative de ses éléments, de l'air où l'oxygène ne cesse pas d'être étendu d'azote dans les proportions naturelles. (P. 269.)

La note étendue dont A. Guérard[1] fit suivre, dans les *Annales d'hygiène*, l'important mémoire de Pol et Watelle, n'est qu'un travail de compilation. Elle ne contient rien de nouveau, ni au point de vue des phénomènes observés, ni au point de vue des explications physiologiques. Seulement son auteur insiste, plus qu'on n'avait fait jusque-là, sur les changements énormes que l'augmentation de pression ferait subir au poids supporté par notre corps. Il en a dressé un tableau détaillé, duquel, à titre de curiosité, nous extrayons les chiffres suivants :

[1] *Note sur les effets physiologiques et pathologiques de l'air comprimé.* — *Ann. d'hyg. publ. et de méd. lég.*, 1854, 2e série, I, p. 279-304.

A 1 atmosphère le poids supporté varie de			15 500	à	20 600 Kil.
1 1/2	—	—	23 250		30 400
2	—	—	31 000		41 200
3	—	—	46 500		60 800
4	—	—	62 000		82 400
5	—	—	77 500		103 000
6	—	—	93 000		123 600

Et il en conclut à des surcharges effroyables, puisque à 6 atmosphères elles varieraient de 77,500 kil. à 100,000 kil.!

Guérard admet en outre que, sous l'influence de la pression, l'oxygène et l'azote se dissolvent en plus grande quantité dans le sang, et que de là résulte un accroissement des combustions interstitielles, d'où l'amaigrissement.

Quant aux douleurs musculaires, il les considère comme étant de nature rhumatismale, et dues au refroidissement qui accompagne la décompression.

Puis, admettant comme générale la plus grande facilité des mouvements que Pol et Mathieu avaient cru remarquer chez quelques ouvriers pendant le travail dans l'air comprimé, il dit :

Il se pourrait que l'influence exercée sur la marche par la pression atmosphérique reçût un nouveau degré de puissance de l'augmentation de cette pression.

Pour le reste, il accepte les conclusions de Pol et Watelle et celles de Pravaz.

Nous revenons, avec le Dr Milliet[1], aux observations d'ordre purement médical. Pour ce médecin, l'action de l'air comprimé est exclusivement physique; il proteste contre l'idée d'une modification chimique dans les actes respiratoires; mais, hormis cette protestation, il n'émet aucune idée nette :

En plongeant, pour ainsi dire, les organes de la respiration dans une atmosphère plus condensée, le poumon trouvera sous un même volume une quantité plus considérable d'air atmosphérique : dès lors il sera en contact, à chaque inspiration, avec une masse plus grande d'air atmosphérique... Que résultera-t-il de cet apport? Ce seul effet, une facilité plus grande dans la fonction. (P. 15.)

Cette réduction du rhythme dans les actes des mouvements respiratoires est purement physique, et malgré les idées générales reçues, il est certain qu'aucune modification chimique ni en plus ni en moins n'est apportée dans le fait de l'oxidation du sang. L'air n'a point été modifié dans sa constitution chimique, et les lois qui régissent notre organisme n'ont point cessé leur action naturelle.

Ainsi, que l'air atmosphérique soit raréfié ou condensé, il n'a modifié en rien l'action chimique de la respiration; il n'a eu qu'une influence physique sur le jeu

[1] *Loc. cit.* — *De l'air comprimé*, etc. Lyon, 1854.

de cette fonction. Mais les choses se passent bien différemment si vous changez les proportions chimiques des gaz de l'air.

Un des effets de l'usage de l'air comprimé est l'augmentation des sécrétions et de l'absorption. L'activité nerveuse dans les organes excréteurs et absorbants m'a paru dériver de la circulation veineuse, qui est toujours plus large et plus complète pendant que notre corps est soumis à une pression plus élevée. (P. 16.)

En 1855 parut la première édition du livre que Eugène Bertin[1], qui employait les appareils installés à Montpellier par Tabarié, consacre à l'étude l'emploi thérapeutique de l'air comprimé. Ce travail, comme son titre l'indique, doit intéresser surtout les médecins. Du reste, l'auteur déclare, dès le début de son livre, « qu'il n'abordera pas les considérations physiologiques. » Aussi ne nous y arrêterons-nous pas longtemps.

Il résume cependant ses opinions dans les termes suivants :

L'air comprimé, quel que soit le degré auquel on l'élève, peut être supporté sans danger, à cause de l'équilibre de pression qui s'établit sur toutes les parties du corps, absolument comme cela a lieu dans l'atmosphère ordinaire.

L'expérience démontre qu'à une pression poussée bien au delà du degré qu'il suffit d'atteindre pour déterminer tous les effets thérapeutiques, il ne survient dans les phénomènes de la vie aucunes modifications qui puissent nuire à leur régularité . . . .

Il est rationnel d'admettre que la diminution de pression atmosphérique suffisant pour ralentir le retour du sang veineux vers le cœur, et pour favoriser ainsi des stases dans le système capillaire, une augmentation de pression doive, au contraire, faciliter ce retour et dissiper ces congestions. . . . .

La respiration opérée dans un air comprimé, en mettant le sang en contact avec une plus grande abondance des deux principes constituants de l'air sous un même volume, doit nécessairement décarboniser une quantité de sang plus considérable que dans l'état ordinaire. Par la même raison, le rôle que l'azote peut jouer dans l'économie doit aussi se trouver plus amplement rempli. Chaque inspiration doit donc avoir un effet plus étendu sous l'air comprimé que sous l'atmosphère ordinaire : de là la nécessité d'inspirations moins répétées, pour suffire aux besoins de chaque moment ; de là une diminution, souvent très-grande, dans le jeu des organes pulmonaires, et la source d'un repos si utile et pourtant si difficile à procurer par tout autre moyen à des organes dont l'action doit être incessante.

Sous l'influence des relations qui unissent la respiration avec les battements du cœur, le relentissement de la première doit amener une modification semblable dans la circulation ; bien des faits permettent, en outre, d'attribuer à l'air comprimé une action sédative directe sur le système circulatoire ; sous cette double action, la lenteur du pouls devient un état permanent, non-seulement pendant l'emploi soutenu des bains d'air comprimé, mais même longtemps après leur interruption . . . .

En même temps, l'appétit s'augmente, les fonctions digestives s'accomplissent

[1] *Étude clinique de l'emploi et des effets du bain d'air comprimé dans le traitement des diverses maladies.* — Paris, 1855.

avec régularité, et par là se trouve assurée une bonne nutrition, source indubitable d'un accroissement des forces générales 5

Les sécrétions offrent peu de traces de l'action de l'air comprimé. J'ai signalé une augmentation sensible de la salive pendant la durée du bain. (P. 60.)

Dans sa 2[e] édit., publiée en 1868, Eug. Bertin reproduit purement et simplement (p. 97), le résumé que nous venons de citer. Du reste, si l'on fait abstraction des observations médicales, beaucoup plus nombreuses que dans la première édition, on ne trouve que peu de modifications apportées au texte primitif.

L'addition la plus importante est la critique de l'opinion de Vivenot sur le ralentissement des pulsations artérielles. Bertin fait d'abord remarquer qu'il a rarement constaté cette diminution sous l'appareil ; au contraire, il l'a notée à la fin du bain, presque toujours quelques heures après, ou même le lendemain avant le lever du malade. Souvent elle n'existe jamais. Enfin, elle n'est pas proportionnée à la pression, dit-il, car elle devrait être énorme chez les ouvriers des tubes.

Nous avons vu plus haut (p. 258) que Hoppe[1], dans un remarquable travail sur les causes de la mort des animaux tués soudain par l'air raréfié, avait trouvé dans leurs vaisseaux sanguins des bulles d'air libre, auxquelles, selon lui, la mort était due. Il ne manqua pas d'appliquer aux accidents de la décompression brusque l'observation qu'il avait faite :

Si, après qu'un animal est resté quelque temps dans l'air comprimé, on diminue soudain la pression, les poumons n'auront pas le temps de laisser échapper les gaz devenus libres dans les grosses veines. C'est ainsi qu'on a vu, dans les mines de houille de France, survenir des morts subites, sans lésions anatomiques. (P. 72.)

Il convient de faire remarquer que Hoppe n'a jamais fait d'expériences directes sur ce point, et qu'il raisonne seulement par analogie.

Quant à l'influence de la compression elle-même, il dit simplement :

L'augmentation de la pression de l'air doit augmenter la force d'absorption du sang pour les gaz ; le sang contiendra alors plus d'oxygène, d'où devra résulter une production plus grande de chaleur et une diminution de la quantité d'air respiré dans un temps donné. L'observation de Pravaz d'une moindre quantité d'acide carbonique excrété dans l'air comprimé s'explique par le faible volume d'air sur lequel il expérimentait. (P. 71.)

[1] *Loc. cit.* — *Ueber der Einfluss*, etc. — Müller's Arch., 1857.

Le Dr François[1], après la relation que nous avons reproduite des accidents survenus aux ouvriers du pont de Kehl, en cherche la cause. Il repousse d'abord l'opinion de Guérard sur le rhumatisme, et l'une des raisons qu'il donne est que « les douleurs musculaires disparaissent spontanément si les ouvriers se replongent dans l'air comprimé ». Rien de plus curieux que l'explication qu'il donne de ces douleurs :

Elles sont, dit-il, le résultat flagrant de l'insinuation dans les tissus de l'air comprimé, envoyé par les machines soufflantes, air qui s'amalgame avec le tissu cellulaire dans ses parties les plus intimes, comme, par exemple, le mercure s'amalgame avec l'axonge après une trituration minutieuse, de façon qu'aucune molécule de métal n'est plus perceptible à l'œil nu.

Cet air, ainsi amassé outre mesure dans nos tissus, doit nécessairement chercher à s'équilibrer avec l'atmosphère ambiante, lors de la sortie du milieu comprimé, et plus cette sortie de la chambre à air aura été effectuée avec précipitation, moins elle aura été graduée et l'élimination prolongée, plus les effets pathologiques devront être prononcés, par la raison que nous avons citée plus haut.

Il repousse explicitement, comme l'avaient fait Pol et Watelle, toute comparaison entre l'air suroxygéné et l'air comprimé :

Nous ne pouvons admettre que ces douleurs soient produites par la présence d'un air plus richement oxygéné, comme l'opinion en avait été émise; en effet, chaque atmosphère de l'air comprimé ne contient, avec tous ses autres éléments, que la même proportion d'oxygène qu'il renferme à l'extérieur : ce n'est pas un excès d'oxygène que l'on envoie dans les caissons, mais bien un excès d'air atmosphérique.

Pour nous donc, nous sommes disposé à admettre que les douleurs musculaires sont le résultat d'une action constante, exercée dans les tissus par un excès d'air atmosphérique, irritation poussée quelquefois jusqu'à la douleur la plus aiguë, lorsque cet air cherche à se mettre trop brusquement en équilibre avec un milieu moins dense. (P. 309.)

Voilà pour les douleurs musculaires. Quant aux accidents du côté de la respiration, ce sont, dit M. François, des congestions pulmonaires :

Leur mode de production est facile à établir ; en effet, nous savons que l'ampliation de la capacité pulmonaire est très-forte sous l'influence de l'air condensé ; que les cellules des organes respiratoires sont considérablement distendues ; or, lors de la sortie et surtout à la suite d'un éclusement rapide et trop peu gradué, le vide se fait trop promptement dans la cavité thoracique, et ce vide doit nécessairement être remplacé par un afflux subit du sang et des autres liquides ; de là ces congestions ; de là aussi ces hémoptysies, suite de rupture des vaisseaux dans le parenchyme pulmonaire.

[1] *Loc. cit.* — *Des effets de l'air comprimé*, etc.; 1860.

D'après ceci, l'on doit concevoir que des personnes sanguines, pléthoriques, sont plus sujettes à ces affections que des individus à tempérament lymphatique ou nerveux.

Les accidents cérébraux dont nous avons cité les exemples, sont également à ses yeux le résultat de phénomènes congestifs. Et ici, M. François cherche à expliquer comment ils se manifestent précisément au moment de la décompression :

Il est incontestable que ces congestions cérébrales, de même que celles du tissu pulmonaire, ne procèdent pas des mêmes causes que les congestions frappant des individus dans le cours de la vie ordinaire, où elles sont produites, la plupart du temps, par une stase sanguine veineuse occasionnée par un obstacle au retour du sang; d'autres fois, mais dans des circonstances moins fréquentes, ces congestions sont le résultat d'une grande impulsion artérielle ; mais il arrive alors constamment une stase consécutive, stase qui peut devenir pernicieuse, lorsque la congestion, de rouge qu'elle était, devient noire et stupéfiante, c'est-à dire que le sang se montre de moins en moins oxygéné.

En est-il de même dans les congestions produites par l'air condensé ? Évidemment non, car ici point de congestion tant que dure la pression atmosphérique exagérée; puis l'ouvrier, soustrait à la pression exagérée, l'excès de l'air contenu dans son organisme cherche à s'équilibrer avec l'air extérieur ; cette tendance se fait sans mesure, comme on doit le penser ; de là, refoulemeut du sang, mais d'un sang rutilant, vers le centre nerveux, refoulement se manifestant quelquefois d'une manière foudroyante, surtout si l'éclusement n'a pas été fait progressivement et avec prudence, mais n'ayant jusqu'à présent produit aucun cas mortel.

Dans tous les cas, lorsqu'on pratiquait la saignée, le sang sortait rutilant de la veine ; aucune saignée noirâtre n'a été constatée. (P. 515.)

Enfin les paraplégies, les rétentions d'urine, etc., seraient dues à des congestions médullaires produites par une cause semblable.

C'est également, comme nous l'avons dit, sur les ouvriers employés au pont de Kehl, que M. Bucquoy[1] fit ses observations. Son travail est extrêmement remarquable, au point de vue surtout des explications physiologiques.

Il s'occupe tout d'abord de l'augmentation dans la quantité d'oxygène que contient le sang. Mais l'hypothèse qui pouvait paraître très-simple à Pravaz se complique singulièrement depuis le travail de M. Fernet (Voy. p. 260). Aussi, dit M. Bucquoy, qui insiste longuement sur la différence établie par ce physicien entre l'oxygène combiné chimiquement aux globules et l'oxygène dissous dans le sérum :

C'est à l'oxygène simplement dissous que sont dues les modifications de l'hématose observées dans l'air comprimé :

[1] *Loc. cit. — De l'air comprimé;* 1861.

En effet, les globules sanguins n'absorbent pas dans l'air comprimé une proportion d'oxygène plus grande qu'à l'air libre, puisque cette proportion est démontrée indépendante de la pression.

D'un autre côté, la dépense d'oxygène que le sang doit faire au profit des combustions respiratoires est aussi grande dans l'air comprimé qu'à l'air libre, puisque ces combustions n'y sont pas moins actives que sous la pression atmosphérique ordinaire.

Si donc, dans l'air comprimé, les globules du sang fournissaient seuls et sans compensation tout l'oxygène nécessaire aux combustions, ils perdraient, comme à la pression ordinaire, une quantité d'oxygène suffisante pour que leur couleur artérielle disparût, et à leur sortie des capillaires généraux, on les trouverait avec la teinte du sang veineux. Or, il n'en est pas ainsi : les globules du sang veineux sont rutilants chez l'homme soumis à l'air comprimé.

Ce fait, considérable au point de vue physiologique, ne peut s'expliquer que de deux façons :

Ou les globules sanguins ne fournissent aux combustions respiratoires, sous l'air comprimé, qu'une portion d'oxygène trop petite pour que leur couleur rouge en soit sensiblement altérée; dans ce cas, le complément d'oxygène nécessaire aux combustions est pris *directement* à la portion de ce gaz qui est simplement dissous dans le sérum, mais dont la quantité augmente avec la pression.

Ou bien les globules fournissent aux combustions tout l'oxygène nécessaire; dans ce deuxième cas, on est obligé d'admettre qu'ils en reprennent au sérum à mesure qu'ils en perdent, puisque leur couleur est à peine modifiée ; cette hypothèse est la plus vraisemblable.

Quoi qu'il en soit, la partie d'oxygène dissoute dans le sérum joue *directement* ou *indirectement* un rôle important dans les phénomènes d'hématose qui se passent sous des pressions supérieures à l'atmosphère. C'est cette portion d'oxygène qui peut seule expliquer la rutilance du sang veineux, toujours rencontrée par MM. Pol et Vatelle, et toujours aussi par M. François. C'est donc à tort qu'on néglige maintenant cette portion d'oxygène absorbé et qu'on regarde les variations de pression comme indifférentes eu égard à l'hématose. (P. 50.)

J'ai le regret de rencontrer, après cette page remarquable, l'adoption, timide, il est vrai et pleine de restrictions, de la théorie si erronée de la compression physique des tissus extérieurs, et du refoulement consécutif du sang dans les parties profondes. Voici de quelle façon, fort originale, je l'avoue, la formule M. Bucquoy :

L'accroissement de pression du milieu ambiant produit son maximum d'effet sur les tissus de la périphérie. Ces tissus se condensent, mais ils résistent dans une certaine mesure à la pression extérieure, et en neutralisent une fraction. La pression subsistante condense les couches placées au-dessous des premières, mais elle éprouve de leur part une nouvelle résistance qui diminue encore son intensité, et ainsi de suite. De sorte qu'à mesure qu'on s'avance de la surface vers les parties centrales, les tissus sont de moins en moins condensés, et les pressions de plus en plus affaiblies. Mais le sang contenu dans les tissus superficiels transmet à toute la masse sanguine, dans tous les sens, à toutes les profondeurs et *presque* également, la pression extérieure. Par conséquent, dans tous les points de l'économie le liquide sanguin exerce contre les parois de ses vaisseaux de

dedans en dehors, et tendant à les dilater, une pression presqu'égale à la pression qu'il supporte extérieurement.

Pour résister à cette dilatation de vaisseaux, chaque tissu a sa résistance propre, et la fraction de pression extérieure qui a pu se propager jusqu'à lui à travers les couches plus superficielles. Il en résulte que les différents tissus résistent très-inégalement à cette dilatation des vaisseaux, et que celle-ci est d'autant plus grande que les tissus sont plus profonds, puisque la pression extérieure transmise aux tissus *par les tissus* diminue avec la profondeur. Par conséquent: dilatation des vaisseaux dans les tissus profonds, où la pression venant de l'extérieur est faible; diminution du calibre des vaisseaux dans les couches superficielles où la pression extérieure est forte; tout cela dans une mesure convenable, jusqu'à ce que l'équilibre soit partout rétabli. A chaque nouvel accroissement de pression, il se produit un effet analogue; une nouvelle distribution du sang et un nouvel équilibre s'établissent. L'effet total est une plus grande masse de sang, dans les tissus et les organes profonds; on a, en un mot, les congestions viscérales et les hypérémies, dont parlent tous les auteurs. (P. 52.)

Mais M. Bucquoy retrouve un terrain solide lorsqu'il parle des effets fâcheux de la décompression. Il n'a pas grand'peine à venir à bout des théories de Pol et Watelle sur les effets tardifs de suroxygénation du sang, et de Guérard sur la nature rhumatismale des douleurs. Envisageant la question en physicien, il dit :

Si l'on pénètre dans l'air comprimé, l'oxygène, l'acide carbonique et l'azote, tenus en simple dissolution dans le sang, doivent augmenter avec la pression; et si la compression a duré suffisamment longtemps, la loi de Dalton veut que la quantité de chacun de ces gaz absorbée par le sang soit proportionnelle à sa pression dans l'air condensé où l'on respire. Dans l'état ordinaire, l'acide carbonique et l'azote du sang ne sont pas puisés dans l'air inspiré; ils sont engendrés par les phénomènes physiques de la vie. Par suite de leur origine, ces deux gaz ne suivent sans doute pas rigoureusement la loi de Dalton, mais leur quantité pondérale dans le sang varie nécessairement dans le sens indiqué par cette loi.

Cela posé, que doit-il advenir lorsqu'on sort des appareils à l'air comprimé?

Pendant et après la décompression, tous les gaz dissous en excès dans le sang, par suite de la condensation de l'air, tendront à s'échapper de ce liquide avec un effort d'autant plus grand, à séjour égal dans l'air comprimé, que la pression qu'on aura subie était plus considérable. C'est là une conséquence forcée des lois physiques sur la dissolution des gaz dans les liquides, et l'on en a un exemple commun et fréquent dans la rapidité et dans la force avec lesquelles l'acide carbonique s'échappe d'une eau gazeuse, quand on enlève le bouchon de la bouteille qui la contient. (P. 58.). . . . .

Les particules de gaz qui ont repris l'état aériforme dans toute l'étendue du système sanguin, restent mécaniquement mêlées aux molécules liquides, qui auparavant les dissolvaient; il s'ensuit que le sang devient un mélange expansible qui fait sans cesse effort pour distendre ces vaisseaux et pour augmenter de volume. Le résultat définitif est une turgescence générale plus ou moins considérable des vaisseaux sanguins et une imminence hémorrhagique plus ou moins menaçante. Et comme les gaz dissous en excès se séparent des humeurs comme du sang, il en résultera une tendance générale à l'emphysème.

Attribuons maintenant à la force expansive des gaz devenus libres une inten-

sité suffisante, et il n'est pas nécessaire qu'elle soit considérable, si elle est favorisée par des dispositions individuelles, alors l'imminence hémorrhagique et la tendance à l'emphysème se traduiront en faits. Nous aurons tous les cas d'hémorrhagie et d'emphysème observés, soit dans les ascensions sur les hautes montagnes, soit dans les voyages aérostatiques, soit dans les ateliers à air comprimé. (P. 59.)

Appuyé sur cette base excellente de raisonnement, M. Bucquoy explique facilement les emphysèmes observés à Douchy, les hémorrhagies, les douleurs musculaires et articulaires, à propos desquelles il cite la très-intéressante observation suivante :

Un jour que j'observais un ouvrier qui souffrait cruellement à un genou, j'ai vu les ventouses sèches placées autour de l'articulation tomber les unes après les autres, quoique bien appliquées par l'infirmier, homme très-adroit. Elles furent replacées plusieurs fois et ne tinrent qu'au bout d'un certain temps; le malade alors se trouva notablement soulagé. L'élimination des gaz libres explique à la fois et la chute des premières ventouses et la prompte disparition du mal par leur application répétée. (P. 62.)

M. Bucquoy termine en conseillant avec grande raison aux ingénieurs de prendre toutes les précautions nécessaires pour obtenir une décompression suffisamment lente.

Nous avons rapporté plus haut (p. 396) l'histoire du malade de M. Hermel[1], qui fut frappé de paralysie en sortant des piles du pont du Scorff, près Lorient. L'auteur, s'est efforcé, en résumant les observations antérieures, d'expliquer les accidents constatés; nous verrons qu'il n'est pas heureux dans ses tentatives.

Il insiste d'abord beaucoup sur le confinement auquel sont soumis les ouvriers qui travaillent dans les caissons. L'acide carbonique qui s'y produit doit, selon lui, jouer un grand rôle, et, rappelant les fourmillements et les ardeurs cutanées qu'a décrits Herpin (de Metz) il pense :

Que ce phénomène pourrait bien être la cause du prurit ardent dont se plaignent les ouvriers et que MM. Pol, Mathieu et François ont signalé, ce que les ouvriers appellent leurs *puces*.

De même, les effets du bain d'acide carbonique qui accélère la circulation peuvent nous donner la raison de la divergence d'opinions que nous avons présentée entre MM. Pol, Mathieu et Blavier, d'une part (les premiers ayant constaté dans l'air comprimé le ralentissement de la circulation, le troisième n'ayant remarqué aucune différence sur trois personnes) et d'autre part, M. François, qui a noté l'accélération de la circulation comme constante. (T. XVI, p. 445.)

Quant à la rougeur du sang veineux, observé par Pol et Watelle,

[1] *Loc. cit.* — *Des accidents*, etc.; 1862, 1863.

il se refuse à admettre leur sagace explication. Il répète avec François que « ce n'est pas un excès d'oxygène qu'on envoie dans les caissons, mais bien un excès d'air atmosphérique ». Il va même plus loin :

D'après ce que nous avons établi, l'oxygène des caissons était considérablement diminué par l'absorption respiratoire et la combustion ; l'acide carbonique nuisant à l'hématose, comment le sang veineux serait-il oxygéné? Il faut chercher ailleurs la raison de la rutilance du sang. Les conditions de milieu dont nous nous occupons donnent lieu d'admettre la formation de gaz oxyde de carbone, qui expliquerait ce phénomène. (P. 447.)

Cet oxyde de carbone serait produit, selon notre homœopathe, par la respiration dans un air pauvre en oxygène.

Telle est la cause des accidents qui atteignent les ouvriers :

Les auteurs n'ayant vu ces accidents paraître qu'après la décompression, ils ont tout attribué à cette transition.

Il arrive alors à l'étude de la décompression ; et il compare ce qui se passe chez les ouvriers aux effets de l'ascension dans les hautes régions de l'atmosphère. Il y a cependant, dit-il, une grande différence, c'est que :

Comme c'est la pression normale de l'air qui retient les fluides dans les vaisseaux, on voit rarement se produire à la sortie des caissons les hémorrhagies qui sont fréquentes dans les ascensions. (T. XVII, p. 37.)

En outre, les effets sont plus graves que ceux de l'ascension parce que la compression est plus considérable, que la décompression est plus rapide, qu'elle agit sur des hommes dans un état morbide manifeste, et que cette sorte de raréfaction s'opère dans un air confiné et mêlé de gaz nuisibles.

Relativement aux douleurs musculaires, il repousse l'interprétation de Pol et Watelle :

Parce que nous n'avons pas trouvé que le sang ait absorbé une plus grande proportion d'oxygène que normalement. (P. 112.)

Mais nous admettons avec François que la compression de l'air fasse pénétrer une certaine quantité d'air dans les tissus. Ce fait est démontré par les cas d'emphysème sous-cutané. (P. 114.)

Quant aux accidents graves, ce sont, pour M. Hermel, des congestions pulmonaires, médullaires, cérébrales, qu'il explique par des chocs en retour ; du reste :

L'opération de la décompression, dit-il, ne produit pas à elle seule tous les

accidents observés; la compression de l'air dans les caissons et leur milieu délétère y contribuent pour une grande part. (P. 203.)

Le travail de M. Foleÿ[1] est certes le plus original au point de vue théorique, entre tous ceux que nous avons rencontrés et résumés déjà. La lecture en est des plus piquantes, sinon des plus faciles; on y trouve, en effet, non-seulement l'histoire et l'explication des accidents qui frappent les ouvriers des tubes, mais la théorie de la respiration des oiseaux dans les hautes régions de l'air, du fonctionnement de la vessie natatoire chez les poissons, etc. En laissant là ces questions, qui ne nous touchent qu'indirectement, nous voyons M. Foleÿ s'efforcer d'éclairer la cause intime des accidents qu'il a constatés, par une étude peu facile à comprendre sur la nutrition, l' « aimatose » et la physiologie des trois systèmes nerveux à l'aide desquels « l'homme (plante, animal et âme) gouverne son être multiple. »

Un exemple indiquera la nature de ces considérations et de leurs conséquences. L'auteur fait la remarque que les ingénieurs sont longtemps avant de souffrir de l'air comprimé :

Cela tient, dit-il, à ce que, d'habitude, les premiers alimentent leur moelle épinière et, par suite, incitent tout leur être avec des souvenirs, des sensations conservées, et que dès lors, écraser leurs sens, c'est favoriser (pour ainsi dire) leur mode vital ordinaire.

Au lieu que les seconds, obligés de vivre et travailler au jour le jour, de fabriquer et dépenser de l'incitation à l'heure l'heure (parce qu'ils n'ont jamais eu le temps d'habituer la source première de notre activité organique à des impressions gardées), ne peuvent alimenter leurs rachis qu'avec des matériaux de contacts atmosphériques toujours réels, toujours positifs, toujours immédiats : matériaux que précisément l'excès de pression les empêche de recueillir. (P. 24.)

J'avoue que je crois devoir renoncer à la tâche de résumer en une formule nette et intelligible les doctrines de M. Foleÿ. Voici quelques citations que j'essaye de coordonner de manière à jeter un peu de lumière sur ces obscurités de pensée et de style :

Dès que les ouvriers sont dans l'air comprimé, leur sang s'hyperartérialise et leur circulation s'achemine vers son minimum. En même temps, leur réserve nerveuse déjà si basse... tombe encore.

Ils travaillent cependant, autrement dit leurs muscles, leurs divers organes mécaniques, tout en mangeant du liquide cruorique, demandent à la moelle épinière de l'incitation et à leurs ganglions directeurs de la force plastique; de ce triple composé de pulpes encéphalique, épinière et sympathique; de ce triple mélange de substances cordinatrice, végétative et incitatrice, que le grand

[1] *Loc. cit.* — *Du travail*, etc.; 1863.

sympathique fait pour décider le cours du sang d'abord, le régulariser ensuite, et finalement le transformer en chair humaine.

Comment répondent à leurs administrés les directeurs mécaniques et nutritifs interrogés?

Mais la moelle épinière qui ne fabrique plus assez d'incitation en refuse, peut-être même en redemande aux ganglions ou plexus du grand sympathique! A leur tour donc, ceux-ci en refusent à leurs administrés, qui malgré cela continuent leurs travaux, se vident de sang, puis se détériorent, et puis finissent par ne plus pouvoir servir. (P. 27.)

Voilà pour les phénomènes causés par la compression; arrivons maintenant à la décompression :

Nous aurons l'inverse de ce que la compression a causé. (P. 44.). . . . .

Peu à peu, les sens affaissés du tubiste se relèvent; peu à peu ils dirigent vers la moelle épinière des sensations plus complètes; peu à peu ce dernier appareil récupère sa puissance. Peu à peu, il rend aux portions du grand sympathique si énergiquement interrogées ce qu'il leur faut d'incitation pour se refaire elles-mêmes; et peu à peu, mais en dernier ressort, ces régisseurs nerveux composent l'ordre qui dirigera, sur les muscles ou autres organes épuisés, l'afflux réparateur.

Enfin ce commandement est fait. Il part comme la foudre. Mais trop conforme en général au principe (la réaction doit égaler l'action), il détermine presque toujours une congestion artérielle, d'autant plus abondante et d'autant plus subite qu'elle a été plus tardive. (P. 28.). . . . .

En résumé, nous n'avons à craindre, pour le tubiste rentré dans l'air libre, qu'une réaction nervoso-sanguine trop forte, un choc circulatoire en ce tour trop violent. (P. 45.)

C'est là ce que M. Foleÿ désigne sous le nom de « congestion postéro-tubaire. »

« Ainsi, toujours selon M. Foleÿ, nous avons toutes les clefs nécessaires à l'intelligence des divers phénomènes morbides qui peuvent naître quand on a quitté l'air comprimé. (P. 29.) »

Voici, par exemple, la *clef* du suintement sanguin qui se produit assez fréquemment par le nez ou la bouche :

La muqueuse, quasi-exsangue tant qu'agit l'air comprimé, se remplit dès que la tension cesse, se déchire si elle est trop mince..... puis, momentanément surprise, elle recouvre son épaisseur normale après quelques oscillations pénibles. (P. 30.)

Voici maintenant pour les sensations de chaleur à la peau, et pour le « prurit pénible, brûlant, intolérable, qui oblige à se gratter à deux mains avec impatience, anxiété, fureur ou délire, que les ouvriers nomment *puces* » :

Dès qu'on entre dans les tubes, on est aplati; les artères diminuent de calibre, et l'on sue facilement. Par tous ces effets notre peau se vide et se flétrit.

Aussitôt qu'on en sort, au contraire, par la seule force mécanique de ses fibres élastiques, cette enveloppe s'épanouit. Malheureusement la rétractilité de leur tunique jaune conserve, à nos vaisseaux nourriciers, leur diamètre minimum. Il en résulte qu'une sorte de vide se forme autour d'eux.

Les choses étant ainsi disposées, quand la réaction commence, autrement dit, quand les ondées sanguines redeviennent vigoureuses, nos artères préalablement isolées cèdent facilement, reprennent leur diamètre antérieur, et même l'exagèrent. En même temps, nos innombrables papilles cutanées sont tuméfiées outre mesure par un sang suroxygéné. Alors dans l'épaisseur de la peau les filets nerveux qui enlacent nos vaisseaux nourriciers, tiraillés brusquement et outre mesure, accusent des douleurs cruelles et dilacérantes, tandis qu'à sa surface tous les contacts deviennent à la fois piquants et brûlants. Ce sont toutes ces douleurs simultanées qui déterminent les puces. (P. 33.)

Enfin les accidents qui frappent « les muscles, puis leurs auxiliaires synoviaux, aponévrotiques ou articulaires », s'expliquent de même; ce sont, comme on l'a vu (p. 394), des tuméfactions :

Ces gonflements sont-ils de nature gazeuse, hémorrhagique ou rhumatismale, comme on l'a dit ? Non !

La recompression qui toujours les efface immédiatement, l'absence de crépitation, de craquement, de coloration quelconque sous l'épiderme, et de pérégrination, enfin l'excessive richesse du sang, qui exclut toute idée de fibrine en excès, autrement dit de maladie inflammatoire, ne permettent pas d'en douter. Ce sont tout bonnement des congestions artérielles sans extravasation. (P. 35.)

M. Foleÿ n'hésite pas à prédire à la médication par l'air comprimé le plus bel avenir :

Faites, dit-il, une chaise à porteurs fermant bien hermétiquement..... Adaptez-y une soupape de sûreté, une pompe foulante et un manomètre : en un mot, disposez tout pour qu'en cette petite chambre la pression de l'air puisse atteindre 2,5 atm. au plus.

Et certainement vous posséderez un meuble qui vous permettra d'aller soulager bien des vieillards asthmatiques; d'aller sauver beaucoup d'enfants atteints du croup, et d'aller aussi guérir quantité d'adultes frappés de maladies congestionnelles, toxico-hémiques. (P. 135.)

Sans discuter la valeur de ces espérances, il est nécessaire de faire observer aux « réalisateurs », comme les appelle M. Foleÿ, que la construction des appareils est notablement plus compliquée et plus coûteuse qu'il ne semble le croire.

M. Caffe[1] fut chargé par la Société médicale d'émulation d'examiner le travail de M. Foleÿ. Il en profita pour étudier à son tour l'action de l'air comprimé.

[1] *Rapport sur le travail de M. Foleÿ, lu à la Soc. méd. d'émulation de Paris*, séance du 1er août 1863.

Il commence par accepter les idées du Dr François sur l'action mécanique de l'air comprimé et sur « l'amalgame » de l'air et des tissus; il les résume dans les termes suivants :

M. François rapporte les douleurs musculaires et arthritiques à la pénétration dans les tissus de l'air comprimé qui devient une cause d'irritation, désignée sous le nom de *souffrance des caissons;* des abcès leur succèdent quelquefois. Une expérience semble confirmer l'opinion de M. François; lors du forage des caissons, quand on a retiré de leur intérieur les sommiers en chêne, soumis à la compression de l'air, ces poutres plongées dans l'eau dégageaient de notables quantités de bulles d'air.

Le danger des congestions cérébrales se traduit également à la sortie de l'éclusement; le sang, soustrait à la pression par l'air condensé, tend à s'équilibrer avec l'air extérieur; il est donc refoulé vers les centres nerveux, cerveau, moelle épinière; la vessie urinaire perd elle-même de sa contractilité. (P. 2.)

Puis, après avoir exposé les observations et les doctrines de M. Foleÿ, il se déclare un partisan des plus ardents de sa « chaise à porteurs », et s'écrie avec enthousiasme :

Nous serons ainsi en possession d'un ingénieux instrument qui deviendra une précieuse ressource thérapeutique pour le soulagement et la longévité de beaucoup de vieillards catarrheux et asthmatiques, et pour conjurer les douleurs si pénibles à supporter et à voir des adultes affectés d'angines de poitrine, qui bleuissent et s'asphyxient en cherchant l'air qui les fuit.

Sans aucun effort d'imagination, mais en procédant avec la logique des faits et du raisonnement, on peut concevoir l'espérance de sauver d'une mort imminente les victimes de la dernière période du croup. L'air comprimé déprimera, aplatira les fausses membranes, et rétablira la liberté et le passage de l'air dans les voies respiratoires. Les congestions cérébrales, les prédispositions apoplectiformes seront conjurées tant que l'influx nerveux présidera à la circulation; peut-être encore est-il permis d'espérer que le typhus, la morve et toutes les maladies de nature toxico-hémique seront guéris, ou du moins singulièrement abrégés dans leur durée, et annihilés dans leur gravité par la respiration dans un air comprimé, qui artérialise et hématose le sang sans aucun effort; l'expérience est facile à tenter sur les animaux.

Le venin de la vipère, le virus de la rage, de la variole, etc., peut-être seront-ils un jour neutralisés localement, ne rencontrant plus, sous l'air comprimé, qu'un sang très-riche essentiellement vital et qui se refusera, par conséquent, à servir de véhicule au poison, comme anéanti sur place; quel est le médecin qui ignore que les maladies contagieuses ou transmissibles ne le deviennent que lorsqu'elles rencontrent des individus prédisposés, soit sur un terrain propice à leur évolution? (P. 7.)

Les auteurs anglais, Babington et Cuthbert[1], qui ont été témoins des accidents du pont de Londonderry, ont cherché, comme tous leurs prédécesseurs, à les expliquer. Eux aussi sont frappés de

[1] *Loc. cit. — Paralysis caused,* etc.; 1863.

voir qu'ils surviennent exclusivement dans la phase de la décompression :

L'idée d'un élément dangereux dans l'air comprimé doit être abandonnée, parce que les ouvriers ne souffraient pas pendant leur séjour, de 3 ou 4 heures, dans le cylindre. Tous les cas de malaise sérieux arrivaient quand on enlevait, plus ou moins rapidement, un excès de pression. Il semble raisonnable, dans l'absence de toute autre cause, de supposer que la transition soudaine d'un air condensé à l'air libre occasionne tous ces symptômes graves.

Mais pourquoi ce changement frappe-t-il le système nerveux? Le cerveau et la moelle, enfermés qu'ils sont dans leurs cavités osseuses, et ayant leurs vaisseaux protégés de même, ne peuvent pas céder à la pression atmosphérique aussi facilement que les parties plus élastiques. Ainsi le cerveau, quand l'ouvrier est sous une pression excessive, ne peut, si cette pression est enlevée de la surface, s'accommoder à cette modification aussi rapidement que les autres organes ; l'excès de pression sur le cerveau et la moelle doit s'en aller par les passages étroits par où le sang sort de ces organes. Les canaux osseux dans lesquels les vaisseaux sanguins sont creusés rend cette issue plus pénible, et l'excès de pression se porte sur les délicates parties nerveuses, brisant les petits vaisseaux, et produisant la série des redoutables accidents que nous avons rapportés. (P. 318.)

Le Dr Sandahl [1] est très-net dans ses explications. Pour lui, les modifications physiologiques observées sont principalement la conséquence d'une augmentation dans la quantité d'oxygène contenue dans le sang. L'action mécanique de la compression ne s'exerce que par l'intermédiaire, pour ainsi dire, des gaz dissous :

La richesse plus grande en oxygène de l'air comprimé agit naturellement plus énergiquement sur les poumons malades que sur les poumons sains. Supposons qu'un homme sain fasse par minute 20 inspirations absorbant chacune 30 pc d'air ; si ses poumons deviennent malades, et n'inspirent plus que 20pc, il devra faire 30 respirations à la minute pour amener dans son organisme la même quantité d'oxygène. Si alors on lui fait respirer de l'air ayant une demi-atmosphère de compression, les poumons ne feront plus que 20 respirations, puisque 20pc de cet air comprimé en vaudront 30 d'air ordinaire.

Si la masse totale du sang chez un homme sain passe en 4 minutes à travers les poumons pour y absorber une certaine quantité d'oxygène, elle devra, dans le cas où les poumons seront rétrécis par la maladie, passer plus vite, pour absorber la même quantité d'oxygène, d'où accélération nécessaire des battements du cœur. Si la compression a rendu l'air plus riche en oxygène sous le même volume, le sang y pourra prendre plus d'oxygène, et la circulation n'aura pas besoin d'être aussi rapide. . . . .

Une action essentielle de l'air comprimé est son influence sur les gaz libres contenus dans le sang. La présence de ces gaz permet à la masse du sang d'être comprimée par l'air, en telle sorte que les vaisseaux se contractent. Cet effet doit se produire surtout d'abord dans les vaisseaux de la superficie du corps. Les capillaires de la peau et du poumons se contracteront donc. . . . .

[1] *Loc. cit.* — *Ueber die Wirkungen*, etc.; 1862.

L'augmentation de la production d'acide carbonique dans l'air comprimé a besoin d'être démontrée par des recherches nouvelles. . . . .

La compression introduisant plus d'oxygène dans le sang, on pourrait s'attendre à voir augmenter la température du corps. Mais cela n'a pas eu lieu dans des observations faites avec le plus grand soin.... Du reste, le ralentissement de la respiration et de la circulation doivent compenser la plus grande quantité d'oxygène contenus dans le sang.

Suivent des considérations sur la sueur, l'urine, la nutrition, desquelles rien de clair ne se dégage.

Tutschek[1] formule d'une manière plus condensée des opinions analogues. Selon lui, l'action de l'air comprimé a deux facteurs :

La pression mécanique augmentée, ce qui modifie le cours du sang; l'augmentation de l'oxygène du sang, qui exerce une grande influence sur les échanges de matières.

Nous arrivons maintenant aux travaux de Rudolph von Vivenot[2]. La partie descriptive des changements du rhythme respiratoire par le séjour dans l'air comprimé a été reproduite dans le chapitre précédent (Voy. p. 438). Quant à l'explication de l'augmentation dans la capacité pulmonaire, Vivenot la trouve dans la considération suivante :

Bien que l'augmentation de pression s'exerce également sur tous les points de la surface du corps, l'effet produit par cette pression n'est nullement égal partout, à cause des différences de texture, de consistance et de position des différents organes.

Le tissu pulmonaire, qui est délicat, élastique, et cède facilement, *résistera moins à l'augmentation de pression du côté de la base des poumons*, où il ne repose que sur les intestins, très-compressibles, que du côté des parois thoraciques, qui sont formées par des tissus plus durs, plus compactes. C'est ce qui explique l'augmentation du diamètre vertical des poumons et leur déplacement vers le bas.

Les modifications que l'action de l'air comprimé peut apporter dans les échanges chimiques de la respiration ont été étudiées par Vivenot avec un grand luxe de détails; l'importance capitale de ce côté de la question nous force à reproduire ici une grande partie de son mémoire de 1865 :

Il fallait, comme base des observations, déterminer la quantité d'acide carbonique exhalé par la respiration, afin de voir si la quantité d'oxygène absorbé et la quantité d'oxygène consommé sont, par l'effet de l'air comprimé, dans des conditions différentes.

[1] *Loc. cit.* — *Die comprimirte Luft*, etc.; 1863.
[2] *Loc. cit.* — Voir la liste des travaux de Vivenot, p. 437.

A priori, on pouvait s'attendre à une augmentation dans les quantités absolue et relative d'oxygène absorbé ; dans la quantité absolue, à cause de l'augmentation de la pression exercée sur les poumons, comme aussi à cause de l'augmentation précitée de la capacité pulmonaire ; dans la quantité relative, puisque le nombre des respirations est diminué, et que c'est un fait que l'acide carbonique exhalé, quelquefois aussi l'oxygène absorbé, sont en raison inverse de la fréquence de la respiration. (Vierordt.)

Vivenot décrit alors le spiromètre dont il s'est servi, et dans lequel « on exhalait l'air provenant d'une expiration aussi forte que possible, faite sans grand effort » :

Si l'on veut en quelque façon pouvoir compter sur le résultat, il faut, comme des essais antérieurs nous l'ont prouvé, faire en sorte que l'expiration soit toujours faite dans des circonstances à peu près identiques. C'est pourquoi les précautions les plus minutieuses ont été prises, *et l'on faisait les expériences sur des inspirations aussi profondes que possible, faites à des intervalles d'une heure et dans des conditions tout à fait semblables.*

Le volume d'air était chez moi en moyenne de 3 700^{cc}. La durée de la respiration de quinze à dix-huit secondes. Le premier essai était fait une heure avant l'entrée dans l'air comprimé, c'est-à-dire à huit heures du matin ; les chiffres obtenus à ce moment n'ont pas d'importance, ne devant servir que de point de départ à l'expérience. Le second essai se faisait à neuf heures, aussitôt avant l'entrée dans l'appareil pneumatique ; le troisième à dix heures, sous l'influence de l'air comprimé, après une heure de durée de la compression ; le quatrième à onze heures, sous la pression normale, aussitôt après la sortie de l'appareil ; le cinquième et le sixième à midi et une heure, aussi sous une pression ordinaire.

Les observations faites de cette manière, journellement, du 26 août au 13 septembre inclusivement, ont donné les chiffres suivants, *comme quantités d'acide carbonique exprimées en grammes, contenues dans chaque expiration, et quantité correspondantes de carbone exhalé.*

OBSERVATEUR, VIVENOT	SOUS LA PRESSION NORMALE		SOUS UNE PRESSION AUGMENTÉE	SOUS LA PRESSION NORMALE		
	8 HEURES	9 HEURES	10 HEURES	11 HEURES	MIDI	1 HEURE
Quantité d'acide carbonique contenue dans une expiration exprimée en grammes.	0,1983	0,2236	0,2676	0,2183	0,2177	0,2106
Quantité de carbone dans une respiration exprimée en grammes.	0,05408	0,06098	0,07298	0,05954	0,05937	0,05744

Ce résultat prouve évidemment qu'une *expiration dans l'air comprimé renferme de* 0,0440 *à* 0,0570 *grammes, en moyenne* 0,050 *grammes, c'est-à-dire* 1/4,352 *d'acide carbonique de plus que sous la pression normale.*

Les chiffres trouvés pour la pression normale (à l'exception de l'observation faite à huit heures), et dont la moyenne est de 0,2176 grammes, se correspondent d'une façon remarquable ; cependant on ne peut méconnaître une petite diminution progressive d'acide carbonique à partir de onze heures, c'est-à-dire à partir du retour sous la pression normale jusqu'à midi à une heure. Le *maximum* de la quantité d'acide carbonique trouvée chez moi sous la pression normale s'est élevée à 0,2890, et dans l'air comprimé à 0,3215 grammes.

Les données prises sur d'autres personnes ont donné des résultats analogues. Chez M. H...t, une expiration de 3,000^{cc}, sous la pression ordinaire, renfermait en moyenne 0,1305 grammes d'acide carbonique, mais dans l'air comprimé 0,1735, avec un excès de 0,0430 grammes, c'est-à-dire de 1/4,04 de la quantité totale et normale d'acide carbonique. Chez Mlle B., une seule expérience faite sous la pression normale a donné pour 3,000^{cc} d'air expiré 0,138 grammes à la pression normale, et dans l'air comprimé 0,170 d'acide carbonique, c'est-à-dire une augmentation de 0,0320, ou 1/4,31.

Partant de l'idée qu'au commencement du séjour dans l'air comprimé il y avait peut-être une plus grande quantité d'oxygène absorbé que vers la fin de ce séjour, comme si le sang se saturait d'oxygène, le docteur Lange a fait des expériences sur lui-même, et a modifié ma propre manière d'expérimenter. Il déterminait le contenu en acide carbonique de sa respiration immédiatement avant la séance, ensuite il recommençait au bout d'une demi-heure de séjour dans l'air comprimé, c'est-à-dire au moment où la pression atteignait son maximum, puis au bout d'une heure, après l'influence continue d'une heure de cette pression maximum, c'est-à-dire après un séjour d'une heure et demie dans l'air comprimé. Pour une quantité de 3950^{cc} d'air expiré, il obtint les résultats suivants :

OBSERVATEUR, LANGE	SOUS LA PRESSION NORMALE	SOUS UNE PRESSION AUGMENTÉE	
		A l'arrivée au maximum de la pression (au bout d'une demi-heure).	Après une heure de durée du maximum de la pression (c'est-à-dire au bout d'une heure et demie).
Quantité d'acide carbonique contenue dans une expiration, exprimée en grammes.	0,2506	0,2959	0,2211
Quantité de carbone dans une expiration, exprimée en grammes.	0,06827	0,08070	0,06300

Il y a donc ici également, à l'arrivée au maximum de la pression, au bout d'une demi-heure de séjour dans l'air comprimé, une augmentation de la quantité

d'acide carbonique exhalée, analogue à celle qui a été constatée chez moi. Cette augmentation a été de 0,0453 grammes, c'est-à-dire 1/5,53. Le maximum absolu a été, chez le docteur Lange, sous la pression normale, de 0,3770 grammes, dans l'air comprimé, de 0,4345 grammes. Mais nous trouvons ici, après une heure de durée du maximum de pression, une diminution d'acide carbonique exhalé de 0,0295 grammes.

Cependant le chiffre obtenu en dernier lieu est douteux, ce qui résulte d'essais faits plus tard, et cela s'explique par le fait qu'une partie de l'air expiré s'était perdu, les tuyaux en caoutchouc n'ayant pas été hermétiquement fermés. Des essais faits postérieurement par le docteur Lange ont donné, comme total de la quantité d'acide carbonique exhalée en deux expirations ordinaires (d'environ 3 à 400 centimètres cubes) et respectivement comme quantité de carbone éliminé, les chiffres suivants :

OBSERVATEUR, LANGE	SOUS LA PRESSION NORMALE	A L'ARRIVÉE AU MAXIMUM DE LA PRESSION (AU BOUT D'UNE DEMI-HEURE)	APRÈS UNE HEURE DE DURÉE DU MAXIMUM DE LA PRESSION (AU BOUT D'UNE DEMI-HEURE)
Acide carbonique.	0,2460 gr.	0,2910 gr.	0,2920 gr.
Carbone.	0,06709 gr.	0,07936 gr.	0,07964 gr.

Ce qui concorde avec les résultats que j'avais obtenus moi-même, comme augmentation de la quantité d'acide carbonique exhalée dans l'air comprimé.

Si maintenant je compare les chiffres obtenus chez plusieurs personnes, je trouve comme *excès de la quantité d'acide carbonique exhalée dans l'air comprimé, comparativement à la quantité totale :*

Chez moi.	$\frac{1}{4,35}$	=	22,99 p. 100
Chez M. H....t	$\frac{1}{4,04}$	=	24,75 p. 100
Chez Mlle B.	$\frac{1}{4,31}$	=	23,20 p. 100
Chez le docteur Lange . .	$\frac{1}{5,53}$	=	18,08 p. 100
En moyenne	$\frac{1}{4,50}$	=	22,26 p. 100

Il peut être bon de faire observer ici que l'excédant d'acide carbonique expiré dans l'air comprimé ne peut pas être attribué à une augmentation dans la quantité d'acide carbonique qui aurait été contenue dans l'appareil pneumatique. Un essai de l'air de l'appareil fait par le docteur Lange, après que trois personnes y avaient séjourné pendant deux heures, donna comme moyenne de 4 expériences sur 3 500^{cc} d'air 0,0 591 grammes d'acide carbonique. L'air de la salle d'attente,

où le spiromètre se trouvait placé et où l'on faisait les essais décrits ci-dessus de l'acide carbonique expiré sous la pression normale, donna de même, comme moyenne de 4 essais à 3500^{cc} d'air, 0,0392 grammes d'acide carbonique, c'est-à-dire exactement la même quantité.

Ainsi, il est prouvé aux yeux de Vivenot que, dans une expiration, il y a plus d'acide carbonique sous l'air comprimé qu'à la pression normale. Mais, d'autre part, la capacité respiratoire est plus grande dans le premier cas que dans le second. Y a-t-il proportionnalité entre ces deux augmentations, et l'une peut-elle être considérée comme la conséquence de l'autre? Vivenot répond comme il suit à cette question :

Si nous rapprochons les rapports des quantités d'acide carbonique exhalées dans la pression normale et dans l'air comprimé des rapports respectifs d'augmentation de la capacité pulmonaire, nous trouvons :

	CAPACITÉS RESPIRATOIRES		QUANTITÉS D'ACIDE CARBONIQUE PRODUIT	
	DANS L'AIR NORMAL	DANS L'AIR CONDENSÉ	DANS L'AIR NORMAL	DANS L'AIR CONDENSÉ
Chez moi.	3425 CC	3553 CC	0,2176 gr.	0,2676 gr.
Chez le Dr Lange. .	3950 CC	4085 CC	0,2505 gr.	0.2959 gr.
En moyenne. . . .	3687,5 CC	3809,5 CC	0,23410 gr.	0,28175 gr.
Soit une augmentation de.	122,0 CC		0,04765 gr.	

Ou, en représentant par 1 les valeurs correspondantes aux rapports normaux :

Chez moi.	$1:1+\frac{1}{31,7}$.	$1:1+\frac{1}{4,35}$.
Chez le Dr Lange. .	$1:1+\frac{1}{29,7}$.	$1:1+\frac{1}{5,55}$.
Soit en moyenne . .	$1:1+\frac{1}{30,80}$.	$1:1+\frac{1}{4,91}$.

Ainsi, pendant que l'augmentation de la capacité pulmonaire dans l'air comprimé s'élève à $\frac{1}{30,80}$, la quantité d'acide carbonique exhalé a augmenté

de $\frac{1}{4,91}$. Le rapport des augmentations est donc environ :: 1:6. Si je calcule quelle devrait être la quantité d'acide carbonique exhalé, si l'augmentation constatée dans l'air comprimé était proportionnelle à l'augmentation de la capacité pulmonaire, je trouve la proportion 3687,5^{cc} : 3809,5^{cc} $=$ 02341,0 gr. : x; d'où $x = 0,24197$ grammes. L'augmentation calculée pour ce cas est de 0,00787 au lieu de 0,04765 grammes que donne l'expérience.

Cette divergence considérable entre le calcul et l'expérience montre clairement que l'augmentation de la quantité d'acide carbonique exhalé sous l'air comprimé n'est pas proportionnelle à l'agrandissement de capacité pulmonaire, qui ne peut avoir qu'une petite part comme cause de cette augmentation. Il semblerait donc permis d'admettre que *l'excès de la quantité d'acide carbonique exhalé serait produit par la compression même, agissant en partie d'après la loi de Dalton et produisant une plus forte absorption d'oxygène*, sous l'influence directe de la compression d'une part, et du fait que l'air comprimé renferme lui-même $\frac{3}{7}$ d'oxygène de plus sous le même volume.

Il restait enfin à calculer la valeur de l'augmentation totale de l'acide carbonique produit dans un temps donné. Pour y arriver, Vivenot procède par voie de calcul, en tenant compte à la fois du nombre des respirations qu'il fait dans une minute, et de la quantité d'acide carbonique contenue dans *une* expiration. Voici, au reste, comment il explique sa manière de procéder :

L'air exhalé par moi dans une expiration contenait, comme il a été dit ci-dessus, sous la pression normale, 0,2176 grammes, et dans l'air comprimé 0,2676 grammes d'acide carbonique. Or, comme à l'époque où les analyses furent faites (du 26 août au 13 septembre) la moyenne de mes respirations dans l'air normal était de 4,15 et dans l'air comprimé de 3,76 par minute, on peut tirer de cette série d'expériences la conclusion suivante :

	QUANTITÉ D'ACIDE CARBONIQUE EXHALÉ, EXPRIMÉE EN GRAMMES		QUANTITÉ DE CARBONE CONSOMMÉE, EXPRIMÉE EN GRAMMES	
	SOUS LA PRESSION NORMALE	DANS L'AIR COMPRIMÉ	SOUS LA PRESSION NORMALE	DANS L'AIR COMPRIMÉ
En une minute. . .	0,903040	1,006176	0,24628	0,27441
En une heure.. . .	54,18240	60,37086	14,7770	16,4647
En 24 heures. . . .	1300,37760	1449,49350	354,6480	395,1528

Si nous comparons les chiffres obtenus pour l'air normal avec ceux qu'ont donnés les auteurs les plus dignes de confiance, nous trouvons que la quantité

d'acide carbonique exhalée dans une heure par des individus de 20 à 28 ans a été estimée par Andral et Gavarret en moyenne à 44,55 grammes, et au maximum à 51,7, et par Valentin, en moyenne à 39,146. Réduits en carbone, ces chiffres correspondent pour Andral et Gavarret à une quantité moyenne par heure de 14,1 grammes, pour Valentin, à 10,665 grammes. Dumas indique 10 grammes comme devant être la moyenne probable de la consommation de carbone par heure et 15 grammes pour des hommes d'une force exceptionnelle.

Nous voyons par là que *les chiffres obtenus par moi pour la pression normale,* et bien que ma constitution ne soit pas très-robuste, *correspondent aux chiffres les plus élevés obtenus par les auteurs, mais que les résultats obtenus dans l'air comprimé dépassent encore considérablement ces mêmes quantités.* Le calcul fait pour un séjour de vingt-quatre heures dans l'air comprimé ne donne qu'un résultat idéal, puisque le séjour n'a duré en réalité que deux heures par jour, et qu'il faudrait donc, pour ce cas, ne prendre que les résultats de l'air comprimé que pour deux heures et y ajouter ceux de l'air normal pour les 22 heures restantes. En faisant le calcul de cette manière, nous trouvons comme quantité véritable d'acide carbonique exhalé en 24 heures, après une séance journalière de deux heures dans l'air comprimé, 1312,7539 grammes, et comme quantité correspondante de carbone consommé pendant ce même temps 358,0234 grammes. D'où il suit que même après cette réduction la production d'acide carbonique trouvée par moi dépasse encore notablement celle que d'autres observateurs ont trouvée dans des conditions normales.

L'explication *des chiffres considérables obtenus par moi-même sous la pression normale* réside dans ce fait que les analyses de l'air expiré n'ont pu être faites dès les premières séances, faute d'appareils et de réactifs convenables, et ne l'ont été que lorsque j'avais déjà fait plus d'une centaine de séances dans l'air comprimé. D'où il suit que *dans les chiffres obtenus chez moi sous la pression normale figure déjà l'effet d'un usage prolongé de l'air comprimé,* c'est-à-dire une augmentation de la quantité d'acide carbonique ; et des analyses faites avant le commencement de ma série de séances d'air comprimé auraient certainement donné une production d'acide carbonique correspondant parfaitement à celle des auteurs, c'est-à-dire moindre.

Le résultat établit donc indubitablement comme un fait que l'influence directe de la compression de l'air aussi bien que l'effet consécutif d'une séance journalière de deux heures dans l'air comprimé, répétée pendant un certain temps, produit une exhalation plus considérable d'acide carbonique, et par suite aussi une augmentation dans la quantité de l'oxygène absorbé.

De cette augmentation dans la quantité d'oxygène absorbée, que Vivenot considère comme démontrée, il tire des conséquences générales de la plus haute importance :

Deux faits, qui concordent parfaitement avec le précédent, sont :

1° *Le besoin plus considérable d'alimentation* qui se fait sentir comme effet de l'air comprimé, par *une augmentation remarquable de l'appétit,* ce que j'ai constaté chez moi-même et chez d'autres, et ce qu'on observe tout particulièrement et sans exception chez les ouvriers qui travaillent dans l'air comprimé ; 2° *l'augmentation très-notable de la sécrétion urinaire,* constatée de nouveau chez moi pendant cette série d'expériences et chez plusieurs autres personnes, et correspondant particulièrement aux premières séances dans l'air comprimé.

Il se produit donc dans l'économie un échange plus considérable de matériaux, et cela sert aussi à expliquer des résultats en apparence contradictoires, signalés par différents auteurs.

Il s'agit *de l'augmentation du poids du corps*, indiquée comme conséquence du séjour dans l'air comprimé par quelques auteurs : témoin J. Lange (d'Utersen), qui dit avoir observé une augmentation de poids de 5 kilogrammes en trente-huit jours (de 58 à 63 kilogrammes) chez une personne, et de 5 kilogrammes en 21 jours chez une autre. Je ne puis que confirmer cette observation par ce que j'ai remarqué sur moi-même ; *car mon poids avait augmenté en quatre mois* (du 30 avril au 1[er] septembre) de 3 livres 1/2 (de 127,5 à 130 livres), ce qui est d'autant plus concluant que c'était au milieu de la saison chaude où, comme on le sait, le poids du corps diminue habituellement.

Mais, d'un autre côté, il y a un fait qui ne peut pas non plus être contesté, *c'est l'amaigrissement considérable des ouvriers* travaillant sous une pression de trois à quatre atmosphères (dans des mines de houille ou à la construction des ponts). Sandahl a constaté le même fait comme conséquence de l'emploi thérapeutique de l'air comprimé, d'où il suit que ce traitement a déjà été conseillé assez souvent, comme *moyen à opposer à l'obésité.*

La contradiction apparente de ces résultats, conséquences de l'augmentation de la pression de l'air, s'explique par la *considération du rapport entre le besoin, l'apport de matériaux et la combustion.* Le besoin d'une alimentation plus considérable se fait sentir. Si donc l'augmentation de l'appétit et la possibilité de prendre plus d'aliments peuvent non-seulement compenser, mais dépasser la combustion plus considérable des matériaux du sang (ce qui sera le cas sous une augmentation de pression peu considérable et avec des séances journalières relativement courtes), *une augmentation du poids du corps devra nécessairement se produire.* Mais, si la combustion du carbone étant aussi considérable que celle qui se produit chez des ouvriers travaillant six à huit heures par jour sous une pression de trois à quatre atmosphères, le remplacement des matériaux brûlés ne peut pas se faire complétement, *la combustion devra nécessairement se faire aux dépens de l'organisme, ce qui produira l'amaigrissement.*

Nous avons reproduit plus haut (p. 442 et suiv.), dans ses parties les plus intéressantes, la longue étude qu'a faite Vivenot des modifications que l'air comprimé apporte dans la circulation et spécialement dans les caractères du pouls.

Il s'est demandé si ces changements dans la forme du pouls peuvent être expliqués par l'action directe, locale, de la pression sur le système artériel. Pour répondre à cette question, il institua l'expérience suivante, dans laquelle il élimine, dit-il, tous les éléments complexes du problème, pour ne se trouver qu'en présence de « la contractilité des vaisseaux et la pression du sang » :

On prend un ballon de caoutchouc avec un tube d'environ 50 centimètres de long ; on les remplit d'eau, sans les mettre sous tension, et on ferme l'extrémité avec un fil. Le cœur est représenté par le ballon, les artères par le tube, le sang par l'eau.

Un sphygmographe est placé sur le tube. Un poids tombe régulièrement et tou-

jours de la même hauteur sur le ballon, représentant ainsi l'impulsion du cœur. On obtient de la sorte un tracé sphygmographique.

A la pression normale, ce tracé présente les apparences caractéristiques du pouls normal dans ces conditions : ascension rapide, verticale, sommet aigu, descente en forme de vagues, tous les signes d'une tension faible dans les vaisseaux.

Si on place l'appareil dans l'air comprimé, rien autre n'étant changé, la courbe du sphygmographe est beaucoup modifiée. Elle ressemble alors, d'une manière tout à fait remarquable, à celle que donne le pouls lui-même sous la compression. La ligne d'ascension est devenue oblique, le sommet s'est changé en un plateau, la hauteur de l'impulsion est moitié moindre, le polycrotisme de la ligne descendante a disparu complétement.

En faisant tomber de plus haut le poids, de manière à avoir une pression plus forte sur le cœur artificiel, la ligne d'ascension deviendra plus droite, l'amplitude de l'oscillation augmentera, mais il n'y aura pas de polycrotisme. Si l'appareil reste longtemps dans l'air comprimé, on voit sortir aux environs de la ligature quelques gouttes de liquide, ce qui n'arrive jamais à la pression normale. A ce moment, le sphygmographe donne un tracé qui se rapproche beaucoup de celui qu'on obtenait avec l'impulsion première.

Au retour dans l'air normal, on retrouve la courbe primitive, seulement avec une ascension plus raide encore et un polycrotisme plus accentué. (*Zur Kenntniss*, etc., p. 373-374.)

Il conclut de cette expérience et de la similitude des tracés obtenus tant avec les artères qu'avec son appareil, dans l'air comprimé, que :

Les changements présentés par les courbes dans les deux cas ont les mêmes causes et dépendent d'une pure influence mécanique exercée par l'augmentation de la pression sur des tuyaux élastiques et remplis de liquide.

L'obliquité de la ligne ascendante, devenue plus accentuée dans l'air comprimé, indique une résistance plus grande des parois artérielles à l'impulsion du cœur.

L'amplitude amoindrie de l'oscillation a deux causes :

La diminution de l'excursion des vaisseaux artériels, dont la diastole est moindre à cause de la résistance augmentée des parois, et la systole moindre parce que, grâce à la pression, les artères sont plus pleines de sang, relativement à leur calibre, et ne peuvent se contracter autant;

La diminution du volume des artères qui, dans l'air comprimé, deviennent plus petites et contiennent d'une manière absolue moins de sang ; c'est ce que démontre nettement la sortie du liquide hors de notre appareil après un long séjour dans l'air comprimé. . . . .

Maintenant, il y a des gaz comprimés dans le sang, qui sont mis en liberté par la diminution de la pression de l'air, et qui par conséquent y sont retenus par une pression atmosphérique élevée : de là une raison pour que la masse du sang restant constante arrive, sous un excès de pression de l'air, à être réduite au plus petit volume possible. . . . .

Il résulte de ces faits que l'action de l'air comprimé s'exercera au plus haut point sur les vaisseaux périphériques. (*Ibid.*, p. 375.)

Nous verrons, au chapitre suivant, ce que vaut cette étrange

expérience, la seule qu'ait faite Vivenot dans le cours de ses recherches, et quelle importance peuvent avoir les conséquences qu'il en tire.

Les idées de G. Lange[1] sont, comme on devait s'y attendre, en concordance parfaite avec celles de son collaborateur Vivenot. Il y ajoute cependant quelques explications originales : celle-ci, par exemple, qui a trait à la diminution du nombre des mouvements respiratoires :

Le besoin de respirer ne résulte pas de l'influence qu'exerce sur la moelle allongée un sang devenu moins riche en oxygène ; mais c'est l'acide carbonique du sang qui fait naître ce besoin, dont l'intensité croît proportionnellement à la quantité de cet acide que le sang contient. C'est pourquoi toute augmentation de la quantité d'acide carbonique exhalé fera diminuer le besoin de respirer, et par suite le nombre des inspirations, à moins qu'une combustion plus active du sang n'y ramène un excès d'acide carbonique égal ou supérieur à la quantité exhalée en plus.

On expliquerait ainsi la diminution de fréquence des mouvements respiratoires par une plus grande exhalation d'acide carbonique dans l'air comprimé, au moins pendant le séjour sous la cloche, et le temps qui suit immédiatement ce séjour. (P. 23.)

Mais G. Lange sait très-bien que cette hypothèse, alors en rapport avec la théorie de Brown-Séquard, ne peut rendre compte du ralentissement permanent des mouvements respiratoires. Aussi a-t-il alors recours à un autre ordre d'explication :

Je ne puis, dit-il, expliquer ce fait que par l'incontestable augmentation de force des muscles respirateurs, laquelle peut seule aussi rendre compte de l'augmentation de la capacité vitale des poumons appréciable dès la première séance.

Il s'appuie ici sur les conclusions d'un mémoire de J. Lange[2], que je n'ai pu me procurer :

Le docteur J. L., dans son travail sur les effets physiologiques et thérapeutiques de l'air comprimé, a conclu d'une série d'expériences, dont je peux attester l'exactitude, que l'on y voyait augmenter notablement la pression négative dans l'inspiration et la pression positive dans l'expiration. Si donc les muscles respirateurs augmentent de vigueur, on est autorisé à supposer que tout le reste de l'appareil musculaire participe à cette augmentation de force. C'est ce que le docteur J. L. a prouvé par une série d'expériences, et il établit comme un fait que, si des malades se sont soumis à l'action de l'air comprimé pour une maladie.

[1] *Mittheilungen über die physiologischen Wirkungen und therapeutische Bedeutung der comprimirten Luft.* — Wiesbaden, 1865. — Trad. de l'allemand par le Dr Thierry-Mieg — Paris, 1867.

[2] *Ueber comprimirten Luft, ihre physiologischen Wirkungen und ihre therapeutische Bedeutung.* — Göttingen, 1864.

quelconque des poumons, ils sentent augmenter leurs forces après quelques bains, et l'exercice musculaire leur devient de jour en jour plus facile et moins fatigant.

Le même auteur dit encore : Il est difficile, sinon impossible, de trouver la mesure de cette augmentation des forces. Les expériences ne fournissent pas de résultats d'une valeur absolue. Elles nous montrent cependant qu'une augmentation de vigueur de tout le système musculaire se produit, et qu'elle est d'une certaine importance . . . .

On peut regarder l'augmentation de la force musculaire dans l'air comprimé comme une preuve de l'absorption d'une quantité plus considérable d'oxygène. Cette absorption se fait surtout par les poumons, et aussi en partie par la peau. Sandahl fait remarquer avec raison que la peau a un pouvoir respiratoire et que, sous l'influence d'une forte pression, laquelle favorise l'endosmose, elle doit absorber plus d'oxygène. (P. 27.)

G. Lange arrive ensuite au ralentissement de la circulation, et il reproduit l'explication de Vivenot :

Ne pourrait-on pas, dit-il, expliquer en quelque manière le ralentissement des pulsations par ce fait que la pression exercée sur une si grande partie du système capillaire et des petites artères y rend le passage du sang plus difficile?

La présence de gaz libres dans le sang rend une compression possible, et les vaisseaux, surtout ceux qui sont situés à la superficie, se contractent au point que l'on voit même quelquefois de légères hyperémies disparaître rapidement.

Les observations relatives à l'influence de l'air comprimé sur les fonctions du système nerveux sont intéressantes à rapporter dans leur entier; on retrouve dans leur explication l'idée déjà émise par divers auteurs, et notamment par M. Junod (p. 432), que les organes contenus dans la cavité crânienne échappent plus ou moins complétement à l'influence de la compression qui s'exerce sur le reste du corps :

Si l'on observe, sous la pression atmosphérique augmentée, plus d'activité et de clarté dans l'esprit, on peut rapporter ce phénomène à une autre cause qu'à l'élévation du baromètre d'un pouce ou d'un pouce et demi, et il n'est permis d'en tirer aucune conclusion en faveur de l'augmentation de pression. Quand Junod prétend que sous une certaine pression le cercle des idées s'étend, et que l'on devient capable de faire des vers, sa prétention me semble bizarre. Mes observations sont, en outre, contradictoires de celles du docteur J. Lange. Il dit que sous l'influence de l'air comprimé le système nerveux central est stimulé d'une manière particulière, que, notamment, les fonctions dévolues aux hémisphères cérébraux se font plus activement, que chez beaucoup d'individus on observe à un degré plus ou moins grand une élasticité et une fraîcheur d'esprit qui n'existaient pas auparavant. Le sujet soumis au bain éprouverait un bien-être intellectuel, et son esprit serait plus clair et plus libre. J'ajoute qu'il croit pouvoir donner ces phénomènes comme des effets constants de l'air comprimé.

Dans mes nombreuses observations, je n'ai rien remarqué de semblable. J'ai

observé au contraire, sur moi-même et sur d'autres, un sentiment de calme auquel succédait généralement une tendance au sommeil.

L'air comprimé ne peut agir directement sur les organes contenus dans la boîte crânienne, tandis que toutes les autres parties du corps en subissent les effets : aussi pourrait-on supposer que l'augmentation, même faible, de la pression atmosphérique, porte plus de sang au cerveau. La tendance au sommeil ferait aussi conclure dans ce sens. Le docteur Vivenot eut l'idée de constater cette augmentation de pression au moyen de la dilatation de la pupille.

Il plaça dans une monture de lunettes un fil divisé en millimètres, et mesura au moyen d'un miroir concave la largeur de la pupille avant et pendant la séance, se servant dans les deux cas de bougies, afin d'avoir un éclairage bien égal. Chose remarquable, il observa le plus souvent un resserrement de l'orifice pupillaire, ce qui doit être attribué à une excitation qui, je l'ai déjà dit, ne se manifestait chez moi par aucun autre signe. (P. 29.)

Citons encore une discussion curieuse sur les modifications dans la circulation lymphatique :

On observe habituellement chez les personnes qui ont fait usage, pendant quelque temps, de bains d'air comprimé, une augmentation d'appétit. Quelques-unes maigrissent un peu au début, mais bientôt leur aspect devient meilleur et elles augmentent de poids. Le docteur J. Lange fournit de ce fait l'explication suivante : Le sang contenu dans la veine sous-clavière subissant une aspiration, la lymphe qui vient du canal thoracique y coulerait avec plus d'abondance, et en outre, le canal thoracique lui-même, qui est hermétiquement inclus dans la poitrine, serait aussi soumis à la pression négative, et par suite, la lymphe qui y est contenue subirait une aspiration d'où résulteraient un courant plus fort et l'existence dans le canal d'une quantité de lymphe plus considérable. Quoi qu'il en soit de cette explication, je pense que l'affaiblissement et l'amaigrissement, causés par une maladie des organes respiratoires, doivent diminuer à mesure que la guérison s'opère, et que, la respiration se faisant mieux, l'appétit se trouve augmenté. L'amaigrissement du début tient probablement à l'absorption plus grande d'oxygène, et les effets de ce gaz ne sont plus déprimants quand l'appétit augmente. (P. 31.)

Les opinions d'Elsässer[1] ne sont évidemment qu'un reflet de celles de Vivenot :

L'action de l'air comprimé dépend de deux facteurs principaux : 1° la pression mécanique augmentée *a* sur la surface extérieure du corps; *b* sur les cavités respiratoires; 2° la plus grande quantité d'oxygène et d'azote respirée dans un volume donné.

Le premier facteur manifeste son intervention d'abord sur les gaz contenus dans le corps, puis sur les capillaires sanguins de la peau et des muqueuses, dont les parois s'aplatissent. Le second agira sur les échanges et sur les mouvements respiratoires. (P. 9.)

Et plus loin, développant ces principes :

La pression d'une atmosphère et demie a pour conséquence une condensation

[1] *Loc. cit.* — *Untersuchungen*, etc.; 1868.

des tissus, une contraction du calibre des vaisseaux sanguins; le sang est diminué dans la peau; les conjonctivites légères se guérissent, les surfaces vésiquées, les oreilles des lapins blancs pâlissent. . . . .

De semblables modifications se remarquent sur les muqueuses respiratoires; elles deviennent plus denses, plus minces, moins riches en liquides et en sang. De là viennent les guérisons des inflammations des poumons, etc. . . . . . .

Quelle est la conséquence de ce refoulement du sang? N'amène-t-il pas de congestions intérieures? L'expérience montre que le cœur n'en est pas troublé, mais travaille avec plus de tranquillité; il n'y a pas de congestion cérébrale.....; mais l'augmentation de l'appétit, de la sécrétion urinaire, de la force, semble en rapport avec une plus grande quantité de sang. . . . .

Le second facteur, la quantité plus grande d'oxygène, a été jusqu'ici trop négligé... Si, à la pression normale, un homme sain respire 16 fois à la minute, et absorbe à chaque fois 30 pouces cubiques d'air, il aura consommé 480 p. c. en une minute. Mais sous la pression de 1 1/2 atmosphère, ces 480 p. c. dont il a besoin deviennent 320; s'il respire encore 16 fois, chaque inspiration ne sera que de 20 p. c.; avec 12 respirations, elle montera à 26 p. c. 6; avec 8, à 40 p. c.... Si donc la proportion ainsi calculée n'est pas observée, il y aura plus d'oxygène introduit dans un temps donné dans les poumons, ce qui explique les assertions des auteurs sur l'absorption d'oxygène plus forte, l'hématose augmentée, la combustion organique activée, etc. (P. 13-17.)

Panum [1], dans le travail que nous avons déjà cité (p. 452), critique, non sans raison, la méthode employée par Vivenot pour mesurer la quantité d'acide carbonique produit dans un temps donné :

La quantité énorme d'acide carbonique trouvée par Vivenot, dit-il, tient à ce que ses expirations étaient trop fortes ; on arrive, en effet, en prenant ses chiffres, à trouver pour la ventilation pulmonaire de 24 h., à la pression normale, 21111,2 litres, et dans l'air comprimé 19745,5 (Panum trouve pour lui, dans une expérience, 1152 litres à la pression normale). Par une respiration aussi énormément forcée il arrive à trouver une production d'acide carbonique de 1300 grammes à l'air normal et de 1449 gr., 5 dans l'air comprimé (Panum a sur lui-même 816 gr., 2).

Quant à lui, il faisait ses analyses sur 60 ou même 120 litres d'air expirés dans un spiromètre, à divers moments de l'expérience. Il ne donne pas, du reste, d'indications très-claires sur la manière dont il conduisait celle-ci; je vois seulement que la compression était de 24 centimètres :

Je n'ai trouvé aucune trace, dans mes expériences, de cette augmentation de la production d'acide carbonique après les bains d'air, dont parle Vivenot..... Je considère comme une erreur l'opinion de Vivenot, parce que sa méthode n'avait pas de base solide et ne pouvait servir à estimer la quantité d'air qui traverse régulièrement le poumon dans un temps donné, avec une respiration naturelle et tranquille; son rhythme respiratoire étant forcé, non naturel. . . . . .

[1] *Loc. cit.* — *Zur Theorie*, etc.; 1866.

Si l'on compare dans mes tableaux les cas dans lesquels ont été respirés des volumes égaux d'air comprimé et d'air normal, on trouve que la quantité d'acide carbonique exhalé a augmenté absolument et relativement dans l'air comprimé. Mais si l'on compare les cas ou il y a eu un même volume d'air, rapporté à la même pression, respiré à l'air libre ou dans la cloche, on voit qu'il y a eu dans l'air comprimé un peu moins d'acide carbonique produit qu'à la pression normale. En d'autres termes, la quantité d'acide carbonique exhalé augmente pendant la respiration dans l'air comprimé par l'augmentation de la masse d'air qui traverse les poumons, en vertu de la pression, mais dans une proportion un peu moindre que celle-ci. (P. 143-146.)

Or, c'est là précisément le résultat auquel était arrivé Vivenot, malgré la méthode défectueuse qu'il avait employée. Panum s'étonne de cette concordance :

Les expériences de Regnault et Reiset, dans lesquelles la respiration d'un air plus riche en oxygène n'avait pas amené une plus forte excrétion d'acide carbonique, semblaient *à priori* prouver qu'on n'aurait rien non plus par l'air comprimé. Cependant j'ai obtenu ce qu'avait vu Vivenot, et malgré mon attente, ce qui est d'autant plus convaincant.

D'où peut dépendre une telle différence entre la respiration dans un air riche en oxygène à la pression normale, ou dans un air normal sous une pression plus élevée?

On peut se demander si c'est l'oxygène lié chimiquement aux corpuscules du sang, ou celui qui est simplement absorbé, qui dans un cas oxyde plus énergiquement que dans l'autre? Si l'on respire de l'air très-oxygéné à la pression normale, alors la pression partielle augmentée augmente aussi la proportion d'oxygène simplement dissoute dans le sang, tandis que celle qui s'y trouve à l'état de combinaison chimique ne varie très-probablement pas. Ceci montre que ce n'est pas l'oxygène simplement dissous, mais l'oxygène combiné qui produit l'acide carbonique, puisque, dans les expériences de Regnault, cette production n'augmentait pas.

On peut voir de même que l'augmentation d'oxydation et d'acide carbonique produit que nous avons constatée dans l'air comprimé dépend de l'oxygène combiné du sang. (P. 147.)

Passant à un autre ordre de phénomènes, le physiologiste danois étudie les modifications du rhythme respiratoire. Nous avons reproduit au chapitre précédent les faits qu'il a observés. Pour expliquer l'augmentation de la capacité pulmonaire, il fait l'expérience suivante :

J'immerge sous l'eau, dans un flacon, une vessie à moitié pleine d'air; une seconde vessie pourvue d'un tube est placée sur elle; le tube passe au travers d'un bouchon qui ferme hermétiquement le flacon, qui est ainsi plein d'eau, sauf l'espace occupé par les vessies. La vessie inférieure représente le tube intestinal et ses gaz, la supérieure le poumon avec la trachée, le flacon et l'eau figurant la cavité thoracique fermée. Si l'on porte cet appareil très-simple dans l'air comprimé, on voit que la vessie inférieure diminue, la supérieure augmentant de volume.

Ce résultat ne change pas absolument, si l'on emploie un flacon dont le fond soit remplacé par une membrane élastique. La vessie fermée se comporte de même; mais une partie seulement de l'espace qu'elle laisse libre est rempli par la vessie supérieure; la membrane du fond se relève.

Ceci montre que c'est la compression de l'air renfermé dans l'intestin qui est la cause de l'augmentation de capacité du poumon et de l'abaissement plus considérable du diaphragme.

Les changements dans le rhythme respiratoire ne pourraient, dit Panum, s'expliquer par l'augmentation de l'oxygène du sang, puisque cette augmentation conduit à l'apnée : or, dans l'apnée, non-seulement le nombre, mais l'amplitude des mouvements respiratoires, diminuent. Il repousse également l'hypothèse acceptée par Vivenot et G. Lange d'une augmentation dans la force des muscles inspiratoires; il trouve, avec raison, que ces auteurs n'ont donné aucune preuve de leur assertion. Selon lui, c'est l'augmentation de la capacité moyenne du poumon, sous l'influence directe et mécanique de l'air comprimé, qui amène les inspirations plus profondes.

Relativement aux changements du pouls, à l'augmentation de la pression artérielle, Panum trouve tout à fait contraire aux lois de la physique « ganz unphysikalisch » l'explication de Vivenot, G. Lange, Sandahl et Elsässer, invoquant une prétendue diminution du volume du sang, par suite du volume diminué sous l'influence de la pression des gaz qui y sont contenus.

Enfin, pour ce qui est des accidents de la décompression, notre auteur, sans avoir cependant fait d'expériences sur cet ordre de faits, en arrive à cette opinion que :

Les phénomènes morbides dépendent en grande partie de ce que l'air devenu soudain libre dans les vaisseaux sanguins est entraîné par le courant circulatoire, et vient former des obstructions emboliques dans diverses régions vasculaires. (P. 149.)

Le but principal de G. von Liebig[1] était d'examiner si la quantité d'acide carbonique formé est la même à l'air libre et dans l'air comprimé. Il décrit minutieusement les appareils compliqués qu'il employait; je dirai seulement que l'analyse de l'air était faite d'après la quantité expirée en 15 minutes, à l'aide d'une solution de baryte dosée par l'acide oxalique. Il va de soi que tous les

[1] *Loc. cit.* — *Ueber das Athmen*, etc.; 1869.

chiffres sont accompagnés de décimales multiples; mais, en revanche, l'auteur se garde de dire si les personnes mises en expérience étaient astreintes à un régime régulier, au double point de vue de la nourriture et de l'exercice, ce qui est cependant de bien autre conséquence que des critiques sur le temps pendant lequel il faut agiter les vases pour avoir une absorption complète de l'acide carbonique.

L'acide carbonique, dont le dosage a été fait dans huit expériences dont Kramer était le sujet, semble bien avoir diminué par le fait de la compression. A la pression normale, d'abord, le patient a produit en 15 minutes, le premier jour 8gr,442 de CO^2, le second 7gr,955; dans l'appareil, successivement 7gr,614, 7gr,784, 7gr,747, 7gr,136; enfin, de retour à l'air libre, 7gr,791 et 7gr,287, c'est-à-dire en moyenne : avant la compression, 8gr,198; pendant, 7gr,570; après, 7gr,539. La différence en moins a donc été, pendant la compression, pour 15 minutes, de 0gr,628, soit en 24 heures, en admettant qu'elle serait restée la même, 60gr,3.

G. Liebig, qui mêle dans une moyenne commune les expériences à l'air libre, avant et après la compression, n'arrive qu'à une différence de 28 grammes, qu'il déclare être de l'ordre des différences physiologiques. Je le concède volontiers, et cela même pour les 60 grammes, pour cette raison qu'il ne fournit sur le régime de son patient aucun des renseignements indispensables. Mais alors il faut avouer que, de ses multiples analyses, malgré leur escorte de critiques physiques sur l'influence de la vapeur d'eau, de l'acide carbonique contenu en proportion un peu plus forte dans l'air comprimé que dans l'air libre (0,197 pour 100 au lieu de 0,147, par exemple), il ne reste rien qui puisse nous servir sur le terrain physiologique.

G. Liebig s'occupe aussi à expliquer les modifications dans les phénomènes rhythmiques de la respiration.

Pour l'augmentation du volume pulmonaire, il s'exprime ainsi :

La pression barométrique agit à la fois sur la surface du corps et sur celle des poumons. En s'élevant, elle combat plus énergiquement l'élasticité du tissu pulmonaire ; celle-ci, qui équivaut à 35mm de mercure, correspond à 1/24 de la pression 720mm (pression moyenne de Reichenhall), mais n'est plus que 1/34 de 1030mm (pression de l'appareil) ; il en résulte que dans l'air comprimé la contraction des muscles inspiratoires a moins de résistance à vaincre. Le diaphragme est aussi aidé dans son action par la diminution du volume des gaz intestinaux. L'inspiration est donc plus facile et plus forte ; par les mêmes motifs l'expiration est un

peu retardée, d'où il suit qu'on ne peut pas respirer aussi vite dans l'air comprimé qu'à la pression ordinaire. Le poumon revient également moins sur lui-même, en sorte que son volume augmente à l'état de repos. (P. 16.)

Quant à l'amplitude de la poitrine, qui persiste après la cure, il y voit, comme G. Lange, le résultat de la gymnastique favorable qu'ont subie les muscles inspiratoires par la disposition nouvelle de la cage thoracique dans l'air comprimé.

Les auteurs dont il nous reste à parler ont été surtout frappés par les accidents de la décompression.

M. Gavarret[1], dans l'article que nous avons déjà cité (p. 291), s'occupe aussi des accidents qui atteignent les ouvriers :

Le retour à l'air libre produit souvent des hémorrhagies buccales et nasales, qui généralement ne sont accompagnées d'aucune douleur. Pour nous, ces écoulements sanguins sont le résultat de déchirures des capillaires déterminées par la tension du gaz, dont le sang est sursaturé.

Les modifications déterminées dans la circulation cutanée au moment de la décompression nous paraissent suffisantes pour expliquer ces accidents. Le sang, sursaturé de gaz libres à forte tension, afflue dans les capillaires, les distend, tiraille les innombrables filets nerveux qui les enlacent, et détermine, suivant la rapidité et l'intensité de la congestion vasculaire, tantôt un simple sentiment de chaleur, tantôt de véritables douleurs. (P. 156.)

M. Leroy de Méricourt[2], après avoir décrit les paralysies dont sont atteints les plongeurs qui se servent du scaphandre, les explique en disant :

Nous croyons qu'il est possible d'admettre que dans ces cas il se produit une lésion de la moelle, et que cette lésion a dû être une hémorrhagie. Suivant le siége et l'intensité de cette hémorrhagie, la mort est survenue très-promptement, comme cela a lieu pour trois sujets, ou n'est survenue qu'après un temps variable, comme chez les sept autres.

Puis, cette hypothèse admise, il se demande quelle peut être la cause de l'hémorrhagie médullaire :

Après mûre réflexion, répond-il, nous sommes porté à croire qu'elle est le résultat de la tension exagérée des gaz libres, en dissolution dans le sang, par suite de la pression considérable à laquelle les plongeurs peuvent être soumis. Dans le scaphandre, comme on le sait, l'homme est complétement isolé de l'eau à l'aide d'un habit en forte toile imperméable et d'un casque métallique fixé sur la collerette de l'habit. L'air lui est envoyé dans cette enveloppe, à l'aide d'une pompe qui communique avec elle par un tuyau flexible aboutissant à l'arrière du casque. Rien ne règle ni le débit, ni la pression de l'air injecté dans l'enveloppe. Il en

[1] *Loc. cit.* — Art. *Atmosphère ;* 1867.
[2] *Loc. cit.* — *Considérations,* etc.; 1869.

résulte que l'ouvrier reçoit souvent ou trop ou trop peu d'air; il est obligé pour remédier, en partie, à la gêne de respiration qu'il éprouve, d'être constamment en rapport avec les pompeurs, au moyen de signaux consistant en un certain nombre de coups donnés à une corde d'appel. Néanmoins, grâce à cette atmosphère que l'homme conserve autour de lui, il peut entretenir sa respiration et séjourner des heures entières au fond de l'eau. Mais plus la profondeur est considérable, plus la durée du séjour se prolonge, plus le sang doit se charger d'un excès de gaz libres à l'état de solution. L'absence de régulateur de la pression doit même souvent faire que l'atmosphère de l'enveloppe soit à une pression plus grande qu'il n'est nécessaire. L'homme est réellement, au point de vue physique, dans la situation d'une bouteille d'eau que l'on charge de gaz acide carbonique pour obtenir de l'eau de seltz artificielle.

Lorsqu'il remonte à la surface, si la décompression est trop peu graduée, les gaz dont le sang est sursaturé tendent à se dégager avec effervescence. Or les expérimentateurs qui font des injections dans le système veineux des chevaux, par exemple, savent que si on laisse à dessein pénétrer, avec le liquide injecté, une fine bulle d'air, au moment où cette bulle d'air pénètre dans la circulation cérébrale, l'animal en expérience tombe comme sidéré. Cette sidération, dans ce cas, n'est que momentanée, mais si la quantité de bulles d'air introduites est considérable, la mort survient d'une manière très-rapide.

Nous avons tenu à reproduire en entier ce remarquable passage, qui rappelle ce qu'avait déjà dit M. Bucquoy (voy. p. 477), et qui contient, sous forme d'hypothèse, une véritable description de ce qui se passe en effet, comme nous le démontrerons dans la seconde partie du présent livre. Mais, par une inconséquence singulière, et qui montre à quel point les anciennes idées sur l'influence mécanique de la dépression avaient pris autorité sur les meilleurs esprits, M. Leroy de Méricourt, au lieu de s'attacher à l'idée des oblitérations gazeuses intra-vasculaires, demeure imbu de l'hypothèse des hémorrhagies, suites de refoulements sanguins. Il se demande alors pourquoi « elles se produisent plutôt dans le centre nerveux spécial que dans la masse cérébrale », et il répond :

La boîte crânienne et la colonne vertébrale forment deux enveloppes également incompressibles ; par conséquent, le sang refoulé de la surface entière du corps et des cavités splanchniques compressibles doit tendre à congestionner l'axe cérébro-spinal. Le système circulatoire de la moelle, comparé à celui du cerveau, est infiniment plus riche, comme le démontrent les injections; enfin, chez le pêcheur d'éponges, ce sont les jambes qui fatiguent le plus, attendu que pendant le séjour sous l'eau il a constamment à marcher, à monter et à descendre le long des roches. Telles sont peut-être les causes qui rendent compte du siége de prédilection des accidents du côté de la moelle. Nous donnons cette explication, bien entendu, avec la plus grande réserve.

M. Bouchard[1], dans son étude sur la Pathogénie des hémorrha-

[1] *De la Pathogénie des Hémorrhagies.* — Paris, 1869.

gies, donne place aux accidents de la compression et de la décompression, qu'il considère comme dus à des congestions et des hémorrhagies abdominales, médullaires et cérébrales. La manière dont il conçoit leur mode de production est des plus intéressantes ; elle est empruntée, dit-il, à M. Marey :

L'air comprimé pénétrant dans les poumons, le vide n'a plus aucune tendance à se faire dans la poitrine, comme chez les pêcheurs à nu ; les congestions pulmonaires ne sont plus à craindre. Toutefois l'abdomen est normalement distendu par des gaz ; l'air extérieur ne pénétrant pas dans l'intestin, ces gaz se compriment et occupent un volume qui est en raison inverse de l'intensité de la compression. Le volume de l'abdomen deviendra quatre fois moindre, si la pression est de quatre atmosphères. Alors la paroi est de toute part refoulée contre la colonne vertébrale et forme ainsi une concavité antérieure. Mais cette paroi n'est pas inerte ; elle tend à se redresser grâce à sa tonicité et même à sa contractilité et, par suite, à diminuer dans l'abdomen la pression qui avait été équilibrée par ce refoulement de la paroi ; elle agit à la façon d'une ventouse monstre, qui chercherait à accumuler dans l'abdomen le sang des autres organes. Et en effet, l'anémie générale se produit.

Cette réplétion des organes abdominaux par le sang n'est cependant pas l'occasion d'hémorrhagies, excepté peut-être dans la rate.

Voilà pour l'explication des congestions viscérales pendant la compression. Mais, lors de la décompression, un phénomène inverse se produirait :

C'est au moment de la décompression qu'arrivent les hémorrhagies, au moment où les gaz intestinaux reprenant leur volume, et distendant la paroi abdominale en sens inverse, vont faire subir aux organes du ventre une pression positive qui expulsera le sang emmagasiné dans leur intérieur, et le lancera subitement vers les autres organes, dont les vaisseaux, qui ont perdu leurs tonus,.... ne s'accommodent pas subitement à cette irruption soudaine. C'est alors que se produisent les épistaxis, les hémoptysies, quelquefois des apoplexies passagères ou mortelles, accompagnées, dans certains cas, d'hémiplégies momentanées ou durables, et enfin ces paraplégies fugaces ou persistantes, que M. Barella signale chez les ouvriers qui travaillent dans les puits tubulaires, et qui, d'après M. Leroy de Méricourt, seraient l'une des causes de mort les plus fréquentes chez les pêcheurs d'éponges.

Cette explication ne suffit pas, du reste, à M. Bouchard, qui reproduit alors les idées de MM. Rameaux et Bucquoy sur les gaz du sang :

Mais cette congestion subite, et comme par contre-coup, au moment où le sang reflue de l'abdomen vers les autres organes, n'est peut-être pas la seule, ni la véritable cause de ces hémorrhagies, ou du moins d'un certain nombre d'entre elles : de celles, par exemple, qui se font dans les cavités incompressibles, le crâne et le rachis. Une autre interprétation a été donnée, qui ne manque pas de vraisemblance. Les gaz se dissolvent dans les liquides proportionnellement à leur tension ; le sang d'un homme qui est resté pendant plusieurs heures sous une

pression de quatre atmosphères doit donc renfermer une proportion d'acide carbonique beaucoup plus forte qu'à l'état normal ; et cet acide carbonique dissous reviendra à l'état gazeux, dès que la pression extérieure diminuera. Si la décompression se fait lentement, le sang, en passant par les poumons , pourra exhaler le trop-plein d'acide carbonique, et aucun accident ne se manifestera ; mais si la décompression est brusque, l'acide carbonique tendra à faire irruption sous forme gazeuse , même dans les vaisseaux, et par sa brusque expansion, ou par l'oblitération de petits vaisseaux dans lesquels il ne peut pas circuler, amènera des ruptures et des extravasations. (P. 99.)

M. Bouchard applique cette idée à la formation des tumeurs musculaires douloureuses, dont ont parlé les auteurs que nous avons précédemment cités :

Ces tumeurs ne sont pas inflammatoires, ce ne sont point des exsudats, ni des extravasations. Elles disparaissent immédiatement par le seul fait de la rentrée dans l'air comprimé, et ne sont jamais suivies de taches ecchymotiques. Au moment où la tumeur existe, elle ne s'accompagne ni de battements, ni de rougeur, ce qui ne permet guère de l'attribuer à une dilatation artérielle exagérée, comme l'a fait M. Foleÿ. S'il est vrai que le travail musculaire est une source importante d'acide carbonique, ne pourrait-on pas supposer que les muscles qui ont le plus fontionné sont chargés d'acide carbonique dissous dans le tissu même, et que, au moment de la décompression, cet acide devient libre à l'état gazeux, pour se redissoudre par une compression nouvelle? (P. 101.)

Il nous reste enfin à parler d'un auteur qui a écrit postérieurement à nos premières recherches personnelles; mais nous le plaçons ici, parce qu'il ne paraît pas avoir tenu grand compte des expériences que nous avions déjà publiées.

Après l'exposé des faits qu'il a observés, et dont nous avons donné le résumé dans le chapitre premier (p. 413 et suiv.), M. Gal[1] arrive aux explications théoriques, ou, comme il dit, à la pathogénie des maladies causées par le travail dans l'air comprimé.

Il distingue avec sagacité la cause des maladies à début insidieux de celle des accidents brusquement survenus. Pour les premières, il accepte, dit-il, l'explication de M. Foleÿ; mais, du moins, il a l'incontestable mérite de l'exposer sous une forme compréhensible :

Nous avons vu que le sang du tubiste et du plongeur est richement hématosé, et il semble difficile que l'anémie puisse survenir dans ces conditions. Mais d'un autre côté, nous avons vu que les sensations perçues par les organes des sens sont beaucoup moins nettes dans l'air comprimé ; il suit de là que la moelle et l'encéphale recevant moins d'incitations, produiront moins de force nerveuse, et l'influence du grand sympathique sur la nutrition des tissus sera plus faible qu'à l'état normal.

Tant que l'ouvrier n'aura pas épuisé sa réserve d'influx nerveux, il ne souffrira

[1] *Loc. cit.* — *Des dangers*, etc.; 1872.

pas ; l'augmentation de son appétit fournira au sang les matériaux dont il a besoin pour brûler son oxygène ; mais le jour où il aura épuisé sa réserve, la production restant en dessous de la dépense, les fonctions du grand sympathique ne se feront plus que d'une façon imparfaite, et le sujet languira fatalement. C'est alors qu'il sera le plus exposé aux autres maladies à début brusque et d'une gravité immédiate.

Quant aux autres maladies, elles sont toutes « dues à la congestion ». Là-dessus, dit M. Gal, tout le monde est d'accord ; mais il en est autrement quand il s'agit d'expliquer leur mode de production.

Sur ce point, il se montre fort éclectique. Il considère comme « possible », après mes expériences, l'opinion qui attribue des accidents à un dégagement gazeux dans le sang. Mais il penche davantage pour l'explication de M. Foleÿ sur

La réaction trop vive, occasionnée, soit par une décompression trop brusque, soit par un manque de réaction dans les points où elle se fait d'ordinaire, et où elle est inoffensive, la peau surtout. (P. 60.)

On avouera que cela n'est rien moins que net. Un peu plus loin, il ajoute :

Pour les plongeurs morts subitement, l'opinion de M. Bucquoy et de M. Le Roy de Méricourt (c'est l'effervescence gazeuse dont il s'agit) a de grandes chances d'être vraie.

Quant aux autres plongeurs, morts plus ou moins longtemps après l'accident, ils avaient tous des paraplégies. Chez tous la lésion de la moelle était survenue brusquement, ce qu'on ne peut rattacher qu'à une congestion, une hémorrhagie dans la substance de la moelle ou une compression par hémorrhagie dans le canal vertébral.

Les cas de guérison rapide observés et la constance de la paraplégie double me font pencher pour la congestion dans la majorité des cas ; mais rien ne prouve que la tension gazeuse n'ait pas amené quelquefois des hémorrhagies.

Enfin, dans le cas que nous avons observé, où la paralysie a débuté plus de 24 heures après la dernière descente, nous ne pouvons voir qu'un fait assez anormal chez les plongeurs, une congestion passive dans laquelle l'influence des gaz du sang ne saurait être admise.

Nous avons insisté sur les congestions graves ; tout ce que nous en avons dit peut, avec des degrés de gravité différents, s'appliquer à toutes les maladies des plongeurs. L'afflux du sang et peut-être l'influence des gaz qu'il contient se fait en des points différents, et la gravité de l'affection dépend de l'importance de l'organe. Les puces, les douleurs musculaires, arthritiques, les hémoptysies ou les hémorrhagies nasales, les otites, les congestions viscérales sont toujours le résultat d'une même cause : réaction sanguine trop violente ou mal dirigée, soit que cette réaction soit due, comme le veut Foleÿ, à l'influence nerveuse qui renaît pendant la décompression, soit qu'il faille faire intervenir l'action des gaz dissous dans le sang. (P. 60.)

Au point de vue pratique et prophylactique, M. Gal tire, avec

tous les auteurs qui l'ont précédé (sauf M. Foleÿ), cette conclusion qu'il faut décomprimer lentement; il recommande aussi de rester d'autant moins longtemps sous l'eau qu'on a atteint de plus grandes profondeurs. Voici, du reste, comment les choses se passaient sous sa direction :

Jusqu'à 25 mètres, même par des fonds uniformes, la durée du travail sous l'eau était d'une heure et demie. De 25 à 30 mètres, la durée était réduite à une heure. De 30 à 35 mètres, une demi-heure seulement. Au dessus de 35 mètres et au-dessous de 40, les plongeurs ne restaient plus qu'un quart d'heure au fond.

Nos pêcheurs n'ont pas dépassé 35 mètres. Les Grecs, plus audacieux, sont allés, en 1867, jusqu'à 54 mètres.

En même temps que la durée du travail diminuait, le temps employé à la décompression augmentait. On avait d'abord posé comme règle une demi-minute par mètre; mais jamais les pêcheurs n'ont voulu s'y soumettre. Ils montaient environ 4 mètres par minute. (P. 72.)

CHAPITRE IV

RÉSUMÉ ET CRITIQUES.

Je vais maintenant résumer, comme je l'ai fait pour la diminution de pression, d'abord les symptômes physiologiques qu'amène l'emploi de l'air comprimé et les accidents plus ou moins graves qui l'ont souvent suivi, puis les théories que les auteurs ont mises en avant pour expliquer tous ces phénomènes.

§ 1er. — **Action physiologique de l'air comprimé.**

Il résulte de la manière la plus nette des faits exposés dans le chapitre Ier que les phénomènes qui doivent être rapportés ici se divisent en deux catégories bien différentes par leur origine, et que nous devons,sous peine de tout confondre, séparer dans l'exposition, bien que la distinction n'en ait pas toujours été faite par les auteurs. Les uns, en effet, se manifestent pendant la compression même, et sont la conséquence du séjour dans l'air condensé ; les autres ne surviennent qu'au moment du retour à la pression normale ; ils sont le résultat de la décompression, et leur intensité est d'autant plus grande que celle-ci a été plus rapide, et que la compression était plus considérable. Cette distinction qui a été, pour la première fois, indiquée d'une manière encore assez confuse par Pol et Watelle, doit dominer notre résumé.

A. — PHÉNOMÈNES DUS A LA COMPRESSION.

Douleurs d'oreilles. — Les douleurs d'oreilles ont été signalées, pendant l'acte de la compression comme pendant celui de la décompression, par tous les observateurs. Tous en ont aussi donné l'explication exacte; ils ont montré comment la trompe d'Eustache, obstruée par des causes diverses, ne laissant pas pénétrer l'air comprimé dans la caisse, la membrane tympanique refoulée, distendue, cause des douleurs qui peuvent être intolérables. Elle se rompt même parfois, comme il est arrivé à M. Cézanne, au pont de Sgedezin. Des accidents semblables, mais moins intenses, signalent la décompression. On les fait cesser en débouchant la trompe, soit par des mouvements de déglutition, soit, ce qui est plus sûr, en expirant fortement, la bouche et le nez fermés.

Ces manœuvres répétées ont pour conséquence de rétablir la perméabilité de la trompe, dont l'oblitération est une cause fréquente de surdité; de là, sans doute, l'amélioration souvent observée de cette infirmité, et l'efficacité du traitement institué par Pravaz. Mais la question se complique de l'action directe de l'air comprimé sur les muqueuses, dont je parlerai tout à l'heure.

Voix. — La voix est altérée dans l'air comprimé : on parle du nez, dit Triger; elle hausse de ton, et Vivenot a fait sur ce point l'observation précise d'une cantatrice qui gagnait un demi-ton dans l'appareil. L'acte de siffler devient impossible à partir de 3 atmosphères, comme l'avait déjà vu Triger; il faut même, selon Pol et Watelle, un certain effort pour parler. Tout cela est bien évidemment dû à la densité plus grande de l'air.

Respiration. — Il est établi de la manière la plus nette que, pendant le séjour dans l'air comprimé, la capacité respiratoire maximum augmente notablement. Le diaphragme et la base du poumon s'abaissent; la respiration s'opère ainsi dans un certain état constant de gonflement du thorax. De là sans doute une des causes d'amélioration pour les asthmatiques, chez qui l'expansion pulmonaire se fait alors plus largement. Cette modification, qui s'accentue à chacun des premiers bains, persiste pendant plus ou moins longtemps après le retour à l'air libre.

La fréquence des mouvements respiratoires diminue notablement; tout le monde est d'accord là-dessus; leur amplitude augmente en sens inverse. Mais, en définitive, il passe à travers le poumon, en

un temps donné, un moindre volume d'air sous pression que dans l'air ordinaire. Cela, du moins, semble résulter des chiffres de Vivenot et de Panum ; mais il faut dire qu'aucune expérience directe n'a été faite, et que ces conclusions ont été tirées de calculs où l'on a dû tenir compte de l'amplitude d'une ou plusieurs respirations et du nombre des mouvements respiratoires à la minute : calculs complexes et semés de causes d'erreurs d'ordre physiologique.

Quant au rhythme lui-même, Vivenot et Panum sont en contradiction complète dans leurs assertions ; mais le point est du reste de peu d'importance.

Circulation. — La diminution des battements du cœur est aussi un fait d'observation générale; seul, M. Bucquoy (p. 391) a avancé une assertion contraire. Dans l'air fortement comprimé, Pol et Watelle ont vu tomber les pulsations de 80 à 50; le changement est surtout très-considérable lorsqu'il y avait une accélération anormale. Au retour à la pression ordinaire, la fréquence habituelle reparaît.

Le pouls subit d'autres modifications encore, sur lesquelles les tracés de Vivenot nous renseignent clairement (fig. 10-13, p. 442, 443) ; son amplitude est très-diminuée, et il porte tous les caractères de la tension artérielle exagérée.

Aucune expérience directe n'a été faite pour mesurer sur des animaux les changements dans la pression du cœur et dans la rapidité du cours du sang.

La circulation capillaire est évidemment très-modifiée. La peau et les muqueuses pâlissent, surtout lorsqu'elles étaient le siége de congestion ou d'inflammation ; les observations des médecins sont, sur ce fait capital en thérapeutique, plus probantes que les expériences faites par Vivenot sur les oreilles des lapins blancs.

La couleur du sang présente, et cela a surtout été observé chez les ouvriers des tubes, une rutilance extraordinaire. Le sang veineux de la saignée du bras, comme l'ont remarqué les premiers Pol et Watelle (p. 384), a l'aspect artériel, indice certain de la plus grande proportion d'oxygène qu'il contient : cette rougeur du sang persiste, selon ces auteurs, pendant un temps assez long.

Sécrétions. — La seule remarque importante qui ait été faite porte sur l'augmentation de la sécrétion urinaire; mais aucune mesure exacte n'a été prise, et on n'a fait aucune analyse de l'urine.

Quelques observateurs ont parlé de la sécheresse de la peau, mais ce point est difficilement susceptible d'appréciations exactes.

Nutrition. — Les variations du poids du corps ont été estimées fort différemment par les divers auteurs. Les médecins des ouvriers tubistes et des plongeurs déclarent qu'il y a amaigrissement ; ceux qui ont employé l'air comprimé dans un but thérapeutique concluent à l'engraissement. Outre qu'il peut y avoir une grande différence à ce point de vue entre l'action d'une pression de 3 atmosphères et celle d'une pression de quelques centimètres de mercure, on ne peut guère comparer les ouvriers tubistes, gens que leur dur travail épuise, qui cherchent dans les alcooliques un secours périlleux, et qui se nourrissent fort insuffisamment en général, avec les expérimentateurs placés dans d'excellentes conditions hygiéniques et pouvant satisfaire largement au surcroît d'appétit que paraît amener le séjour dans les cloches. De ce chef donc, il ne paraît guère possible d'arriver à une conclusion quelconque.

Les observations de Vivenot sur une augmentation de la température du corps, allant de 0°,1 à 0°,4, ne me paraissent en aucune façon convaincantes.

Quant à la production d'acide carbonique dans un temps donné, nous en parlerons dans le prochain paragraphe.

Innervation. — Il est très-difficile d'y voir clair parmi les récits des auteurs, pour ce qui a rapport aux fonctions sensorielles. L'odorat et le goût sont impressionnés désagréablement dans les tubes par les impuretés de l'air, et l'oreille est rendue malade par la distension de la membrane du tympan.

Ils ne sont pas plus d'accord pour les fonctions intellectuelles. Colladon (p. 373) accuse une excitabilité qui ressemble à l'ivresse; M. Junod (p. 432) affirme que « les fonctions de l'encéphale sont activées » ; M. Foleÿ, en sortant des tubes, il est vrai, était atteint d'une surexcitation cérébrale qui le faisait « se surprendre en flagrant délit de bavardage, en dépit de tous ses efforts. » J. Lange (p. 496) prétend que constamment, dans l'appareil même, « on éprouve une élasticité et une fraîcheur d'esprit qui n'existait pas auparavant ». En sens inverse, le Dr François dit qu'on ressent surtout au début une certaine somnolence, et suivant G. Lange, le seul phénomène qu'on puisse constater est « un sentiment de calme auquel succède généralement une tendance au sommeil. »

B. — PHÉNOMÈNES DUS A LA DÉCOMPRESSION.

Leur intensité dépend, comme nous l'avons dit, de deux facteurs auquels elle est proportionnelle : le degré de la pression atteinte, la rapidité de la décompression.

Jusqu'à 2 atmosphères, il ne paraît se manifester aucun accident chez les ouvriers. Au-dessus, apparaissent de plus en plus fréquemment des démangeaisons cutanées, des *puces*, qui finissent par occasionner des douleurs extrêmement vives; elles sont beaucoup plus communes chez les ouvriers tubistes que chez les plongeurs. Puis surviennent des gonflements douloureux des muscles, particulièrement, selon la juste remarque de M. Foleÿ, de ceux qui ont le plus travaillé pendant le séjour dans l'air comprimé; en même temps, des douleurs périarticulaires. Ce n'est qu'au-dessus de 3 atm. qu'arrivent les accidents vraiment graves : troubles sensoriaux, cécité, surdité, troubles de la locomotion et de la sensibilité générale, surtout paralysie des membres inférieurs, de la vessie, du rectum, et bien plus rarement des membres thoraciques; troubles cérébraux, perte de connaissance; enfin, mort subite.

Ces accidents ne se manifestent que quelques minutes et parfois quelques heures après la sortie des caissons ou des scaphandres; dans un cas observé par M. Gal, la paraplégie n'a débuté que vingt-quatre heures après la décompression opérée. La durée de celle-ci est du reste très-variable; chez les plongeurs, elle se fait avec une rapidité que les bons conseils de M. Denayrouze n'ont pu modérer; pour les tubistes, elle a été au maximum de trois ou quatre minutes par atmosphère.

Les troubles légers, douleurs cutanées, musculaires, articulaires, disparaissent toujours dans un temps assez court. Il en est ainsi souvent des accidents plus graves, et même de la perte de connaissance. Mais trop fréquemment les paralysies des membres inférieurs sont persistantes, et nous avons rapporté des observations nombreuses qui font un lamentable tableau de ces malheureux dont presque toujours la mort vient, au bout d'un temps variable, terminer les souffrances. Dans aucun des faits que nous avons rapportés une paraplégie ayant duré plus de deux jours n'a été complétement guérie.

L'inégalité entre les divers individus au point de vue des effets

de la décompression est une des circonstances les plus singulières que nous ait révélées cette étude. Nous avons vu, par maints exemples, que, de plusieurs personnes soumises à la même pression et décomprimées en même temps, les unes restaient absolument indemnes, d'autres n'avaient que de légers accidents, tandis qu'une d'entre elles pouvait être frappée d'une manière redoutable. Il en arrive autant, dira-t-on, dans bien d'autres circonstances, et une simple sortie de bal donne de semblables inégalités. Mais ce qui fait la singularité du cas présent, c'est qu'on a invoqué, pour expliquer ces accidents, et avec raison, nous le démontrerons, une cause purement physique, et que la physique devrait être égale pour tous. Mais l'inégalité n'existe pas seulement entre divers individus; elle existe chez la même personne, suivant des circonstances mal déterminées. Il n'est pas rare de voir un ouvrier, épargné jusque-là, être frappé en quittant une pression identique, parfois même inférieure à celles dont il avait déjà impunément supporté la suppression. On a souvent invoqué, pour expliquer ces faits, l'excuse banale et facile d'excès alcooliques ou autres; mais parfois cette explication, qui n'en est pas une au point de vue physique, faisait complétement défaut. La seule circonstance sur laquelle les observateurs soient d'accord, c'est la durée du séjour dans l'air comprimé; plus celui-ci est long, plus à craindre seront les accidents, si bien que certains auteurs en sont arrivés à conclure qu'il faudrait multiplier les poses, c'est-à-dire les intervalles de travail dans les tubes, sans faire attention qu'on multiplierait ainsi les décompressions, occasions d'accidents.

Le précepte de décomprimer lentement a été, en dehors de toute idée théorique, accepté par tous les auteurs et proclamé par les ouvriers eux-mêmes, bien que, dans la pratique, le froid intense qui accompagne la décompression pousse ceux-ci à se hâter. M. Foley seul n'y paraît attacher aucune importance, et encourage au contraire à la décompression rapide (p. 395).

§ 2. — Explications théoriques.

Nous avons ici encore à séparer les symptômes observés pendant le séjour dans l'air comprimé d'avec les accidents de la décompression.

A. — PHÉNOMÈNES DUS A LA COMPRESSION.

Il ne pouvait, bien entendu, être question ici de chercher ailleurs que dans l'air comprimé la cause des symptômes présentés par les expérimentateurs ou les ouvriers; les bizarres hypothèses dont nous avons eu à nous occuper à propos du mal des montagnes ne pouvaient être imaginées ici. Mais cette action de l'air comprimé a été considérée par les uns au point de vue physico-mécanique, par d'autres au point de vue purement chimique. Je ne rappelle que pour mémoire la prétendue explication fournie par Brizé-Fradin (p. 462), qui met en avant « la force vitale » et ceci fait, s'en rapporte à elle pour « changer les lois générales » et tout arranger à souhait.

Explications physico-mécaniques. — Laissons de côté, comme ne méritant vraiment pas d'être relevée, l'idée que l'air comprimé à plusieurs atmosphères embarrasserait les mouvement de la locomotion, et, comme trop évidente, l'action de l'air comprimé sur la membrane du tympan, dont nous avons déjà parlé. Nous nous trouvons d'abord en face de l'explication que nous avons eue à combattre, en parlant de la dépression, je veux dire de la différence du poids supporté par le corps.

Nous avons reproduit les calculs que Guérard a pris la peine d'établir pour montrer à quel écrasement serait exposé un homme qui travaille sous plusieurs atmosphères de pression. Ainsi les ouvriers du pont de Kehl auraient eu à supporter 54,000 kilogr. de charge supplémentaire. En vérité, si, comme nous l'avons déjà montré (p. 356), la physique élémentaire ne faisait justice de ces idées, au nom de l'incompressibilité des liquides et des solides, ces chiffres seuls auraient dû avertir les auteurs de l'énormité qu'ils commettaient. Cependant, presque tous ont accepté cette explication; M. Foley l'exprime d'une manière saisissante : « Dès qu'on entre dans les tubes, dit-il, on est aplati (p. 482). »

Presque tous les auteurs, je le répète, même les plus sagaces et les plus autorisés, même Pravaz, Bucquoy, Vivenot, etc., croient à l'action directe et mécanique de la pression. Qu'est-ce qui a pu induire dans une telle erreur d'aussi bons esprits? Une observation très-juste, et faite par tous les observateurs : la pâleur de la peau et des muqueuses chez les ouvriers ou les expérimentateurs, et surtout chez les malades, lorsqu'il s'agissait d'une muqueuse enflam-

mée. Dans l'air raréfié, nous l'avons vu, les veines et les capillaires superficiels se remplissent, comme si le sang était appelé à la périphérie; dans l'air comprimé, ces vaisseaux se vident, comme si le sang était refoulé vers les profondeurs. De là, dans le premier cas, la théorie de la ventouse générale; dans le second, celle de l'écrasement : « l'air comprimé, dit encore M. Foleÿ, qui revient fréquemment sur cette idée avec une énergie singulière, aplatit notre muqueuse aérienne dans sa totalité » (p. 393).

Les autres auteurs sont généralement plus prudents; ils se sentent embarrassés par la physique qui proteste contre leur doctrine. Rien de plus curieux que les efforts de M. Bucquoy pour échapper à cette contradiction; mais sa théorie de la pression progressivement décroissante, à mesure qu'on va de la peau aux tissus profonds, n'est pas soutenable (p. 477). Je signale aussi les idées de M. Junod, de G. Lange, de M. Leroy de Méricourt, sur le prétendu refoulement du sang dans le cerveau, dû à ce que celui-ci, protégé par la boîte crânienne, ne pourrait être comprimé directement comme le reste du corps; ces auteurs ont oublié que la pression se transmet instantanément à la moelle épinière et au cerveau par d'autres voies que les vaisseaux sanguins, en sorte qu'il y a dans cet organe comme ailleurs égalité de pression, et que la circulation du sang n'y peut être nullement modifiée.

Mais si l'on peut comprendre que la complexité des conditions présentées par le corps humain, considéré dans son ensemble, ait entraîné des esprits distingués à des erreurs physiques aussi étonnantes, on ne peut guère s'expliquer comment, lorsque la question a été réduite à ses termes les plus simples, ils n'aient pas, du premier coup, reconnu quelle faute ils commettaient. Et cependant, nous avons vu Vivenot, dans le but d'expliquer les modifications que le séjour dans l'air comprimé apporte dans la forme du pouls, instituer l'étrange expérience plus haut rapportée (p. 493), et prétendre qu'une pression d'un tiers d'atmosphère suffit pour modifier le volume et la réaction élastique d'une poire de caoutchouc remplie d'eau.

J'ai eu la curiosité de répéter cette expérience, non pour m'édifier à son sujet, mais pour savoir ce qui avait pu faire obtenir à Vivenot des tracés graphiques différents dans l'air normal et dans l'air comprimé; il est résulté de mes tentatives que très-vraisemblablement Vivenot n'avait pas bien fermé son appareil, et que, en outre, il y avait laissé de l'air. On comprend qu'il soit absolument

inutile d'insister sur des conclusions « ganz unphysikalisch », comme dit très-justement Panum. Le plus curieux de l'affaire, c'est que cette expérience, si étrangement conçue et si malheureusement conduite, a été acceptée et prônée des deux côtés du Rhin. Vivenot a fait une expérience ! dit-on. Et cela suffit à beaucoup de gens; car il existe toute une école médicale dont les sectateurs n'ont, bien entendu, jamais hanté les laboratoires, mais pour qui le mot « expérience » tient lieu de tout, comme le « tarte à la crême » de la comédie.

Pravaz n'a pas manqué d'appliquer à la compression la théorie que nous avons déjà citée plus haut (p. 360), à propos de la décompression. Selon lui, le sang est appelé avec plus d'énergie dans les organes profonds lors de l'inspiration dans l'air comprimé, parce que la pression extérieure agit plus énergiquement sur le système veineux. Mais, comme nous l'avons dit déjà, il faudrait démontrer que dans l'air comprimé la pression négative intra-thoracique est plus forte qu'à une atmosphère. Les conclusions de Vivenot l'affirment, il est vrai, mais j'en ai cherché vainement la preuve dans son livre.

Je citerai enfin l'intéressante théorie développée par M. Bouchard (p. 503). Selon lui, la paroi abdominale, refoulée par la pression à cause de la diminution de volume des gaz intestinaux, tendrait à se redresser par son élasticité, et exercerait ainsi sur les organes abdominaux une sorte de succion, qui aurait pour conséquence d'y emmagasiner le sang : d'où les congestions viscérales et l'anémie générale. Je ne saurais, quant à moi, accepter cette idée originale; il n'y a pas que la paroi abdominale qui soit portée en dedans; le diaphragme est dans le même cas, et nous avons vu que le diamètre vertical de la poitrine s'agrandit. Or il me semble impossible d'admettre que ces membranes musculaires présentent une élasticité suffisante pour se roidir contre la compression et opérer ainsi ventouse : elles doivent, au contraire, le diaphragme surtout, lui céder fort docilement.

Il n'en est pas moins vrai que, pour des raisons quelconques, le sang paraît refoulé de la périphérie vers les organes profondément situés; de là des modifications importantes dans la circulation et la nutrition des diverses parties du corps, modifications dont on sent que la thérapeutique a pu tirer grand profit, dont on comprend que la santé peut, lorsqu'elles persistent trop longtemps, avoir à souffrir.

Les variations dans l'amplitude et le rhythme respiratoire ont aussi été expliquées par l'action mécanique de l'air comprimé.

Les uns, comme Pravaz, ont considéré que l'air comprimé favorise l'expansion pulmonaire, en combattant plus énergiquement la réaction élastique des tissus. C'est la réciproque de la théorie exposée à propos de la décompression, et dont nous avons montré l'inexactitude, ou du moins l'extrême exagération.

D'autres, avec bien plus de raison, ont fait intervenir les gaz intestinaux. C'est en effet la seule partie de l'organisme sur laquelle puisse directement agir la pression de l'air. Si, dans la phase de raréfaction, leur volume ne peut augmenter, comme nous l'avons vu, à cause des deux orifices qui laissent avec tant de facilité échapper un trop-plein, il peut et doit évidemment diminuer suivant la loi de Mariotte, et de façon indéfinie, lorsque l'air extérieur devient plus dense. Ainsi fait-il, en réalité; des ouvriers tubistes, que j'ai interrogés, m'ont avoué qu'ils étaient obligés, une fois dans les tubes, de resserrer la boucle de leur pantalon, à cause de la rétraction du ventre.

Ce fait établi, je ne saurais admettre la conséquence qu'en tire Pravaz (p. 466), à savoir que l'élasticité augmentée de ces gaz gêne l'action du diaphragme, diminue la dilatation thoracique dans le sens vertical, mais augmente l'expansion de la poitrine dans les deux autres directions. Outre que cette hypothèse ne paraît guère soutenable, les mesures obtenues directement par Vivenot au moyen de la percussion et de l'auscultation montrent que, dans l'air comprimé, le poumon descend plus bas qu'à l'état normal.

Panum a fait, pour mettre en lumière le mécanisme de l'agrandissement de la cavité thoracique, une expérience que nous avons rapportée plus haut (p. 499). Elle n'a qu'un défaut, c'est qu'il était inutile de la faire; bien certainement, étant donné un tube fermé à ses extrémités par deux membranes d'inégale épaisseur, rempli d'eau et contenant en outre une vessie pleine d'air, on verra, si l'on porte cet appareil sous pression, la vessie se réduire en volume et les deux membranes s'enfoncer dans le tube en proportion inverse de leur épaisseur. Il doit bien évidemment se passer quelque chose d'analogue dans l'abdomen, entre les gaz du tube intestinal d'une part, le diaphragme et les parois ventrales de l'autre. Tout l'intérêt de la question est de savoir dans quelles proportions ces derniers organes tendent à envahir de dehors en dedans l'espace qu'occu-

paient les gaz intestinaux diminués de volume. Or l'expérience de Panum ne dit rien là-dessus.

Explications chimiques. — L'idée que, sous une plus grande pression barométrique le sang se charge, en traversant les poumons, d'une plus grande proportion d'oxygène, est une idée toute naturelle, qui a été acceptée par tous les auteurs, depuis et y compris Brizé-Fradin (p. 462). Elle a trouvé une confirmation évidente dans la constatation faite par Pol et Watelle, François, Foleÿ et tous les médecins qui ont soigné les ouvriers tubistes, que le sang tiré des veines pendant la compression, ou même quelque temps après la décompression, présente une couleur rouge, artérielle. Les expériences contradictoires en apparence de M. Fernet (p. 260) n'ont pas beaucoup impressionné les auteurs en présence de ce fait si évident. Je ne vois guère que M. Bucquoy (p. 477) qui se soit efforcé de les discuter; à ses yeux, c'est l'oxygène dissous dont seule la proportion augmente, puisque M. Fernet a prouvé que les globules sanguins n'absorbent pas dans l'air comprimé une quantité d'oxygène plus grande qu'à l'air libre. Les autres auteurs se bornent à constater que le sang est plus riche en oxygène, et à tirer de là toutes les conséquences qu'ils croient inspirées par la logique, guide dont il faut toujours se défier en ces matières complexes.

Pour M. Foleÿ, par exemple, « l'hypérartérialisation » du sang n'est pas à mettre en doute, et elle a pour suite « une énorme consommation des tissus divers, à cause de l'excès d'oxygène qui les pénètre ». Mais cette augmentation dans les combustions intra-organiques, il faudrait en prouver l'existence.

Or les expériences de MM. Regnault et Reiset, montrant que les animaux qui respirent dans un milieu très-riche en oxygène, n'y absorbent pas plus de ce gaz et n'y forment pas plus d'acide carbonique que dans l'air ordinaire, rendaient peu vraisemblable l'idée d'une activité chimique augmentée. Pravaz, le seul qui avec Panum (p. 499) paraisse avoir compris la portée de l'objection, y répond fort médiocrement (p. 467) et de manière à compromettre un peu sa réputation de physicien. Mais il eut le mérite de faire faire à deux de ses élèves, Hervier et Saint-Lager, des expériences tendant à résoudre directement la difficulté.

On sait à quelles conclusions compliquées (p. 465) sont arrivés ces expérimentateurs en cherchant à déterminer les modifications que le séjour dans l'air comprimé apporte dans l'excrétion de l'acide carbonique, et par suite dans la consommation de l'oxygène.

Je n'essayerai pas de les discuter, parce que de pareilles recherches n'ont de valeur que par la méthode employée; or cette méthode, je l'ai déjà déclaré, était des plus défectueuses. En une matière si délicate, et où l'on peut présumer que les différences seront de très-faible importance, il est indispensable de respecter scrupuleusement et la précision chimique et surtout l'exactitude physiologique.

Ce n'est pas la première de ces conditions qui manque, du moins en apparence, au travail de Vivenot. A en croire ses chiffres, l'analyse qu'il aurait faite de l'acide carbonique, contenu dans une expiration, serait exacte jusqu'à la 6e décimale, et ceci seul, je l'avoue, suffirait pour me mettre en défiance. Ainsi la quantité d'acide carbonique exhalé en 24 heures à la pression normale étant de 1300gr,37760, elle serait dans l'air comprimé de 1449gr,49350. Voilà qui paraît bien concluant. Mais comment ces chiffres ont-ils été obtenus? En analysant le produit d'*une* expiration « aussi forte que possible, mais faite sans grands efforts » à la pression normale, qui a donné 0gr,2176 d'acide carbonique, et d'*une* expiration sous compression, qui a donné 0gr,2676; en tenant compte du nombre *moyen* des mouvements respiratoires par minute, qui était de 4,15 pour le premier cas et de 3,76 pour le second; enfin, en multipliant par 60 puis par 24 le nombre ainsi trouvé.

Pour moi, je me refuse à accorder aucune espèce de valeur à des chiffres obtenus par une méthode aussi absolument contraire à ce qu'exige la vraie précision, la précision physiologique. Se baser sur une expiration, faite à raison de 3,76 mouvements respiratoires par minute, c'est-à-dire sur des conditions extraordinaires, c'est s'exposer à supporter, au nom de la méthode expérimentale, les plus sévères critiques. Je n'hésite pas à dire, sans entrer dans le détail des expériences, sans insister sur les « tuyaux de caoutchouc non hermétiquement fermés » (p. 488), que toute cette partie du travail de Vivenot, malgré ses innombrables *tabelles* et ses colonnes de chiffres où la table de logarithmes a « fait merveille », doit être considérée comme nulle et non avenue.

C'est aussi l'avis de Panum, qui a étudié la même question en se plaçant dans des conditions meilleures, sans doute, mais qui ne sont encore pas à l'abri de tout reproche. Cependant, ses expériences déposent dans le même sens, et tendent à montrer que, dans l'air comprimé, il y a plus d'acide carbonique produit en un temps donné qu'à la pression normale.

J'avoue qu'à mes yeux ce fait même n'est pas prouvé; un coup d'œil jeté sur le tableau publié par Panum suffit pour motiver mes doutes sur les résultats de ses expériences mêmes; car on voit qu'en définitive il n'y en a que quatre qui soient comparables et dans les conditions normales, et que sur ces quatre une seule a été faite à la pression ordinaire. De plus, la respiration n'a été prolongée que pendant 10 à 12 minutes; enfin, il n'est rien dit du régime diététique auquel était soumis le sujet des expériences.

L'augmentation de la quantité d'acide carbonique exhalé, dans l'air comprimé, admise sans conteste par Pravaz, par M. Foley, par les physiologistes allemands, les a entraînés à conclure à une plus grande quantité d'oxygène absorbée pendant la compression même. De là, toute une série de conséquences, déjà entrevues par les anciens auteurs : excitation nerveuse, énergie musculaire, combustion des tissus, s'en déduisent facilement. De là, l'augmentation dans la quantité d'urine excrétée (?), l'élévation légère de la température (?), l'appétit insatiable, qui amène l'engraissement s'il est possibl de le satisfaire, et l'amaigrissement dans le cas contraire. Tout cela s'enchaîne fort bien, il faut l'avouer; mais c'est une bien périlleuse méthode que celle qui appuie la certitude des prémisses sur leur harmonie avec les conséquences : elle ne fera jamais preuve aux yeux d'un expérimentateur. Je n'insiste donc pas sur ces faits dont j'ai donné plus haut tous les détails.

B. — Phénomènes dus a la décompression.

Les médecins qui ont soigné les ouvriers tubistes et les plongeurs à scaphandre ont été unanimes pour attribuer à des congestions sanguines, allant parfois jusqu'à l'hémorrhagie, les accidents consécutifs à la décompression : congestion des poumons, des viscères abdominaux, et surtout des centres nerveux encéphaliques et spinaux. Mais le mode de production de ces congestions n'a pas été par eux nettement déterminé, tant s'en faut.

Pol et Watelle croient que la congestion se produit pendant l'acte même de la compression, par le refoulement centripète du sang; si elle ne produit pas son effet alors, c'est que le sang suroxygéné n'a pas d'action fâcheuse sur les organes. A la décompression, le sang se désoxygène et les conséquences habituelles de la congestion

se manifestent (p. 470). J'avoue ne pas bien comprendre comment les médecins de Douchy pourraient accommoder leur théorie avec les cas par eux-mêmes constatés dans lesquels les accidents les plus graves coexistaient avec la rutilance du sang veineux.

M. Foleÿ, dans son explication de la « congestion postéro-tubaire », est si peu clair que je préfère renvoyer le lecteur aux citations textuelles que j'ai faites de son mémoire (p. 480). Babington et Cuthbert (p. 484) ne s'expriment pas d'une manière beaucoup plus intelligible : à leurs yeux, la protection du crâne et de la colonne vertébrale empêcherait, lors de la décompression, « l'excès de pression sur le cerveau et la moelle de s'en aller assez rapidement par les passages étroits par où le sang sort de ces organes » : de là les congestions, ou mieux les compressions nerveuses. Cette erreur physique ne mérite vraiment pas une réfutation.

M. Bouchard a développé sur ce sujet une idée digne d'attirer l'attention. Ce serait la soudaine dilatation des gaz intestinaux, primitivement comprimés, qui chasserait tout d'un coup le sang contenu dans les viscères abdominaux, le refoulerait dans la circulation générale, et amènerait les congestions et les hémorrhagies dans les organes nerveux (p. 504). J'avoue que je ne puis admettre qu'une expansion gazeuse, dans un canal ouvert à ses deux extrémités, puisse, en présence de parois aussi facilement extensibles que le diaphragme et les muscles abdominaux, expulser le sang du foie, de la rate, etc., avec assez de violence pour produire de pareils désordres.

Une autre explication des accidents de la décompression a été proposée par M. Bucquoy, et inspirée par les leçons du professeur Rameaux, de Strasbourg (p. 478). Sous l'influence de la pression, les gaz du sang augmenteraient en quantité, l'oxygène suivant la loi de Dalton, l'azote et l'acide carbonique suivant une progression moindre, parce qu' « ils ne sont pas puisés dans l'air inspiré, mais engendrés par les phénomènes physiques de la vie ». Il en résulte, qu'au moment de la décompression, ces gaz tendent à redevenir libres, comme « l'acide carbonique s'échappe d'une eau gazeuse, quand on enlève le bouchon de la bouteille qui la contient ». Et M. Bucquoy cite, à l'appui de cette hypothèse si vraisemblable dans ses traits généraux, les emphysèmes observés à Douchy, la guérison des tumeurs musculaires par la recompression, et une observation fort curieuse que nous avons rapportée en entier (p. 479).

F. Hoppe, nous l'avons vu, avait déjà eu la même idée; mais il ne l'appuyait que sur les expériences faites sur la décompression par la machine pneumatique, et n'apportait à l'appui de son hypothèse aucune observation personnelle (p. 474).

L'idée de M. Bucquoy fut acceptée par M. François, qui ne paraît cependant pas en avoir une compréhension bien nette, puisqu'il parle « d'amalgame du tissu cellulaire avec l'air des machines soufflantes, amalgame comparable à celui du mercure avec l'axonge » (p. 475), et par tous les auteurs qui le suivirent, Vivenot (p. 452), Panum (p. 500), M. Gavarret (p. 502), M. Leroy de Méricourt (p. 503), etc.; M. Foleÿ seul n'y crut pas (p. 483). M. Bouchard (p. 504), M. Gal (p. 506) et d'autres admettent simultanément les congestions viscérales et le dégagement des gaz libres du sang.

Mais ce dégagement, personne ne l'a vu, aucune expérience n'ayant été faite. Et quels sont ces gaz libres? Les trois gaz du sang et surtout l'oxygène, comme l'indique M. Bucquoy? Rien ne le prouve; comment croire que l'oxygène, qui si facilement se combine aux tissus, puisse redevenir gazeux, et présenter un obstacle sérieux, invincible, à la circulation de ce sang qui l'absorbe ordinairement avec tant de rapidité, et dans lequel on peut en injecter sans danger de grandes quantités? Puis, comment agit le gaz devenu libre? En oblitérant les vaisseaux? En déterminant des hémorrhagies? Et comment se fait-il que les accidents ne soient que l'exception, même au-dessus de quatre atmosphères? Ne pourrait-on pas nier l'exactitude de l'hypothèse elle-même, en soutenant que, s'il fallait l'admettre, tous les ouvriers décomprimés simultanément devraient avoir leur sang semblable à l'eau gazeuse qui s'échappe de la bouteille débouchée dont parle M. Bucquoy, et devraient, par suite, être simultanément frappés?

On le voit, bien que vraisemblable *à priori*, bien que vraie, pour le dire à l'avance, la théorie des gaz libres n'est rien moins que démontrée aujourd'hui. Pour ceux-là même qui l'ont énoncée et soutenue, elle se mêle à d'autres théories, et rien de bien net ne se dégage de ce que nous venons de résumer.

SECONDE PARTIE

EXPÉRIENCES

CHAPITRE PREMIER

DES CONDITIONS CHIMIQUES DE LA MORT, EN VASES CLOS, DES ANIMAUX SOUMIS A DIVERSES PRESSIONS BAROMÉTRIQUES.

Les recherches nombreuses que j'ai faites autrefois sur la composition finale de l'air contenu dans des vases clos où des animaux sont maintenus jusqu'à la mort[1], m'ont déterminé à commencer l'étude de l'influence qu'exercent sur les organismes vivants les modifications dans la pression barométrique, par l'analyse de l'air devenu mortel par suite du confinement, lorsque cet air est soumis à des pressions différentes de la pression normale.

Un certain nombre d'expériences préliminaires sur lesquelles il serait oiseux de donner ici des détails, me faisaient déjà fortement incliner à penser que la cause principale, sinon la cause unique de cette influence dont les aéronautes d'une part, et les plongeurs à scaphandre de l'autre, présentent les exemples les plus énergiques, tenait à la composition différente, suivant les différentes pressions, des gaz contenus dans le sang. Il semblait donc que le plus court et le meilleur chemin pour résoudre

[1] Voy. mes *Leçons sur la physiologie comparée de la respiration.* Leçons XXVII et XXVIII, p. 498-526. = Paris, 1870.

la question, dût être de commencer par installer et mettre en usage les appareils nécessaires pour étudier ces gaz du sang. Je résistai cependant à cette idée, la plus simple en apparence, et me décidai à attaquer le problème par la voie indirecte de l'étude de l'air confiné, et ceci pour deux raisons. Je pensais d'abord trouver ainsi quelques aperçus nouveaux sur la question de l'asphyxie, qui me préoccupait depuis si longtemps; en second lieu, le problème que j'entreprenais de résoudre se présentait à moi avec une telle complexité apparente, qu'il me parut bon de ne pas aller tout droit à ce qui me paraissait *a priori* devoir me fournir la solution générale, de crainte d'être trop vite satisfait, et de laisser échapper certains éléments peut-être fort importants. J'espérais, si l'on me permet cette comparaison, en battant ainsi les buissons au lieu de suivre la grande route, faire quelque utile et curieuse rencontre. C'est au lecteur de juger si mon espérance a été trompée; je veux ici seulement me disculper par avance du reproche d'illogisme qui pourrait paraître fondé, sans oser pour cela, malgré la grande envie que j'en ai, déclarer que cette marche indirecte, et pour ainsi dire oblique, doit être, dans bien des cas, érigée en méthode générale de recherches.

Étant donnée maintenant cette question première, il me fallait l'envisager à tous ses points de vue, et ils sont nombreux. Je pouvais d'abord considérer des animaux de même espèce mourant en vase clos, sous des pressions plus faibles ou plus fortes que la pression barométrique normale. Je pouvais ensuite comparer les uns aux autres, dans des conditions barométriques semblables, des animaux d'espèces différentes. Enfin il était nécessaire d'examiner l'action, sous pressions diverses, de milieux respirables dont la composition chimique fût différente de celle de l'air atmosphérique, car cette dernière considération, appliquée à la théorie de l'asphyxie, avait fourni à Claude Bernard des faits d'un intérêt capital.

Je me plaçai donc à ces points de vue divers, et je vais rendre compte successivement des résultats que m'a fournis

l'expérience. Je commencerai par l'étude de l'air ordinaire pour finir par celle d'un air de composition différente, et dans l'un et l'autre cas je m'occuperai d'abord de la diminution, puis de l'augmentation de pression. Chacune de ces parties de mes recherches fournira le texte de réflexions particulières; mais on verra que les conclusions d'ensemble ne peuvent être tirées que de leur étude simultanée, tant les divers faits se compléteront les uns par les autres, s'engrèneront, pour ainsi dire, de manière à conduire à un résultat général que je puis, dès maintenant, énoncer sous cette forme un peu paradoxale : la pression, dans ses variations les plus étendues, par exemple, de 10 centimètres de mercure à 20 atmosphères, n'agit pas, lorsque ces variations sont ménagées avec une suffisante lenteur, n'agit pas, dis-je, sur les êtres vivants en tant que pression, comme agent physique direct, mais comme agent chimique faisant changer les proportions de l'oxygène contenu dans le sang, et occasionnant soit l'asphyxie, lorsqu'il n'y en a pas assez, soit des accidents toxiques lorsqu'il y en a trop. C'est vers la démonstration de cette vérité que convergent tous les faits expérimentaux dont je vais maintenant exposer les détails.

SOUS-CHAPITRE PREMIER.

PRESSIONS INFÉRIEURES A CELLE D'UNE ATMOSPHÈRE.

§ 1er. — **Dispositif expérimental.**

L'appareil, à l'aide duquel ont été faites mes expériences sur la composition de l'air confiné dans lequel meurent des animaux sous des pressions moindres que celle d'une atmosphère, est d'une construction des plus simples.

Sur une table sont fixées quatre plaques de verre montées sur des armatures de cuivre, semblables à celles des machines pneumatiques (fig. 15) A, en telle sorte que l'on peut mener quatre expériences de front. Les quatre parties de

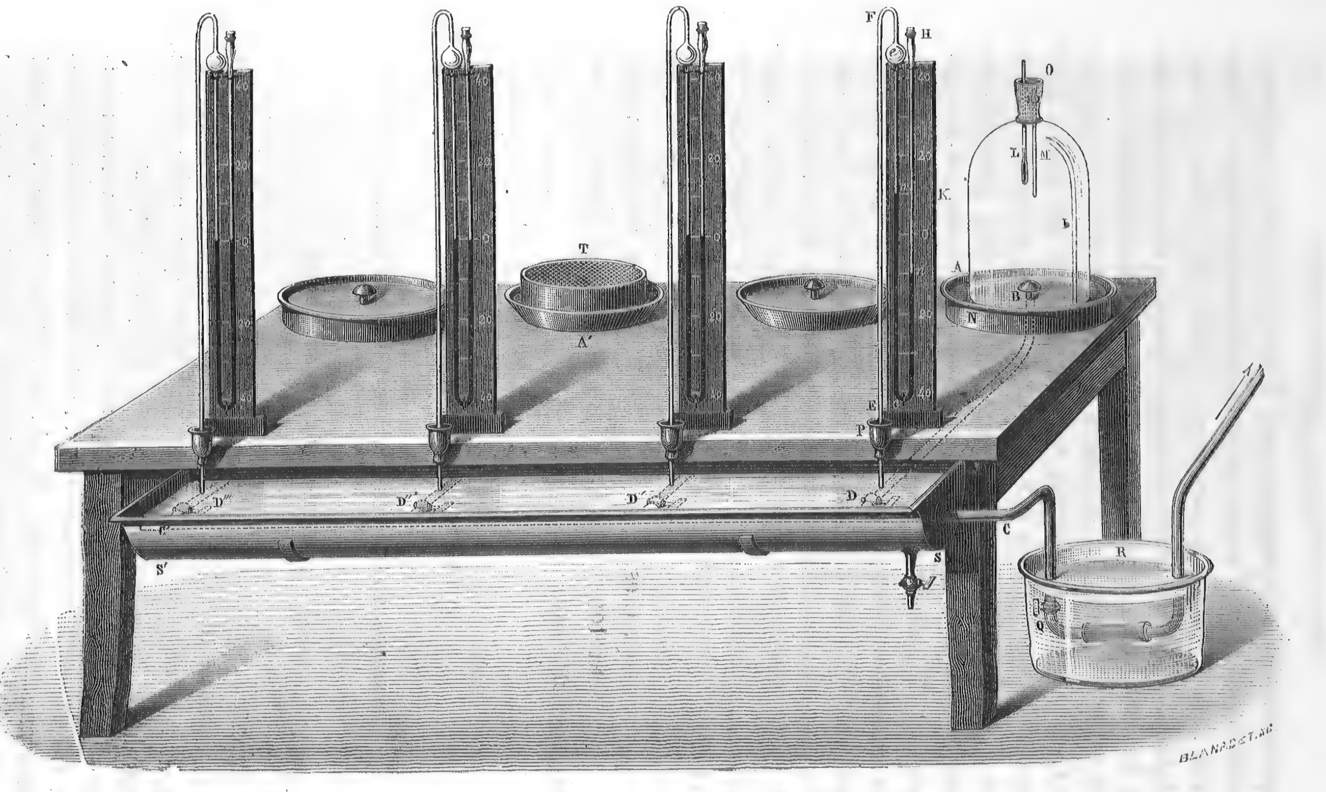


Fig. 15. — Appareil à quatre plaques pour expériences sur la diminution de pression.

A. Plaque pneumatique avec manchon de zinc N, thermomètre L, tube de verre pour prendre air M, avec robinet noyé dans le manchon plein d'eau O. — B. Orifice par lequel la pompe à vapeur aspire l'air, par l'intermédiaire du tube C, des robinets D et Q plongés dans l'eau. — E F G H. Manomètre avec communication noyée en P. — *c*. Petit renflement pour éviter les projections de mercure. — S S'. Gouttière de zinc pour noyer les robinets D. — T. Appareil à recueillir les urines.

l'appareil étant absolument semblables, il doit suffire d'en décrire une seule.

La plaque est percée en son centre d'un orifice par lequel passe un tube de plomb coiffé d'un chapiteau mobile B, lequel devra empêcher les animaux d'être attirés par l'aspiration de l'air. Ce tube se rend dans un tuyau transversal CC' qui lui-même communique avec une pompe aspirante mue par une machine à vapeur; un robinet D permet d'établir ou de fermer la communication. Entre le robinet et l'embouchure B se dresse un long tube de verre deux fois recourbé sur lui-même EFGH, et dans lequel on a versé du mercure. Il est bien évident que lorsque la cloche I sera fixée sur la plaque A, et que la pompe aspirante entrera en jeu, le mercure s'élèvera dans la branche fermée du tube de verre, et que la différence entre les niveaux *nn'* mesurée sur la règle divisée K indiquera exactement la valeur de la dépression; on voit en *e* un renflement destiné à recueillir le mercure qu'un coup de piston trop énergique pourrait aspirer violemment et faire passer dans les tubes de plomb. La cloche I est terminée par une douille fermée d'un bouchon de caoutchouc à travers lequel passent un thermomètre L et un robinet M; l'extrémité inférieure de celui-ci porte un tube de caoutchouc, en telle sorte que l'air extrait par le procédé que je vais indiquer dans un moment, provient des régions moyennes de la cloche.

Il est indispensable, pour que ces expériences puissent donner un résultat, que l'appareil soit bien hermétiquement fermé, et garde exactement le degré de vide auquel il a été amené : la moindre ouverture, laissant rentrer une petite quantité d'air, peut occasionner, comme je m'en suis aperçu à mes dépens, des causes d'erreurs énormes. Pour obtenir la fermeture hermétique nécessaire, j'ai fait en sorte de noyer dans l'eau toutes les fissures par lesquelles pouvait pénétrer l'air. Ainsi, la plaque de verre sur laquelle est ajustée la cloche à l'aide de suif, comme d'ordinaire, est entourée d'un cercle saillant de zinc N, dans lequel on verse de l'eau ; de même, des capsules en caoutchouc O et P forment une fer-

meture hydraulique pour l'ajustement du robinet M et du tube manométrique E; enfin, les robinets D et Q plongent dans l'eau du vase R et de la gouttière en zinc SS'. Par ce moyen, si la clôture n'était pas parfaite, au lieu d'air il rentrerait de l'eau, dont la présence avertirait du danger et indiquerait le lieu où l'appareil serait en défaut.

L'animal placé sous la cloche peut être, si cela paraît nécessaire, maintenu à une certaine hauteur à l'aide d'un plateau grillé T.

Lorsque tout est disposé, on met en marche la pompe à vapeur, et il est facile de concevoir comment on peut, en faisant varier l'ouverture du robinet M, diminuer plus ou moins rapidement la pression dans la cloche, tout en y conservant un courant d'air toujours pur. Cette précaution permet, comme on le verra plus loin, d'accoutumer jusqu'à un certain point les animaux à des pressions assez basses et qu'ils paraissaient d'abord ne pouvoir supporter. Lorsque j'avais besoin de recourir à des diminutions de pression que la pompe à vapeur ne pouvait me donner, je fermais, au moment où celle-ci refusait d'aspirer davantage, le robinet D (le robinet M étant déjà fermé depuis quelque temps), et je mettais ledit robinet M en communication par un tube épais de caoutchouc avec une machine pneumatique ordinaire, ce qui me permettait d'obtenir le vide à 1^{c} près environ. Je n'ai eu, du reste, que bien rarement besoin de recourir à ce procédé.

Je dois enfin faire connaître de quelle manière je me procurais, à un moment donné, et spécialement après la mort de l'animal, une certaine quantité de l'air contenu dans la cloche, afin d'en faire l'analyse.

Je mettais dans ce but en usage le petit modèle de la pompe à mercure que construisent MM. Alvergniat. Je crois devoir donner ici une description de cet instrument dont il sera souvent question dans la suite de ce travail.

La pompe à mercure (fig. 16) consiste en un tube barométrique dont la chambre A forme un renflement considérable et porte à sa partie supérieure un robinet R, dont je parlerai

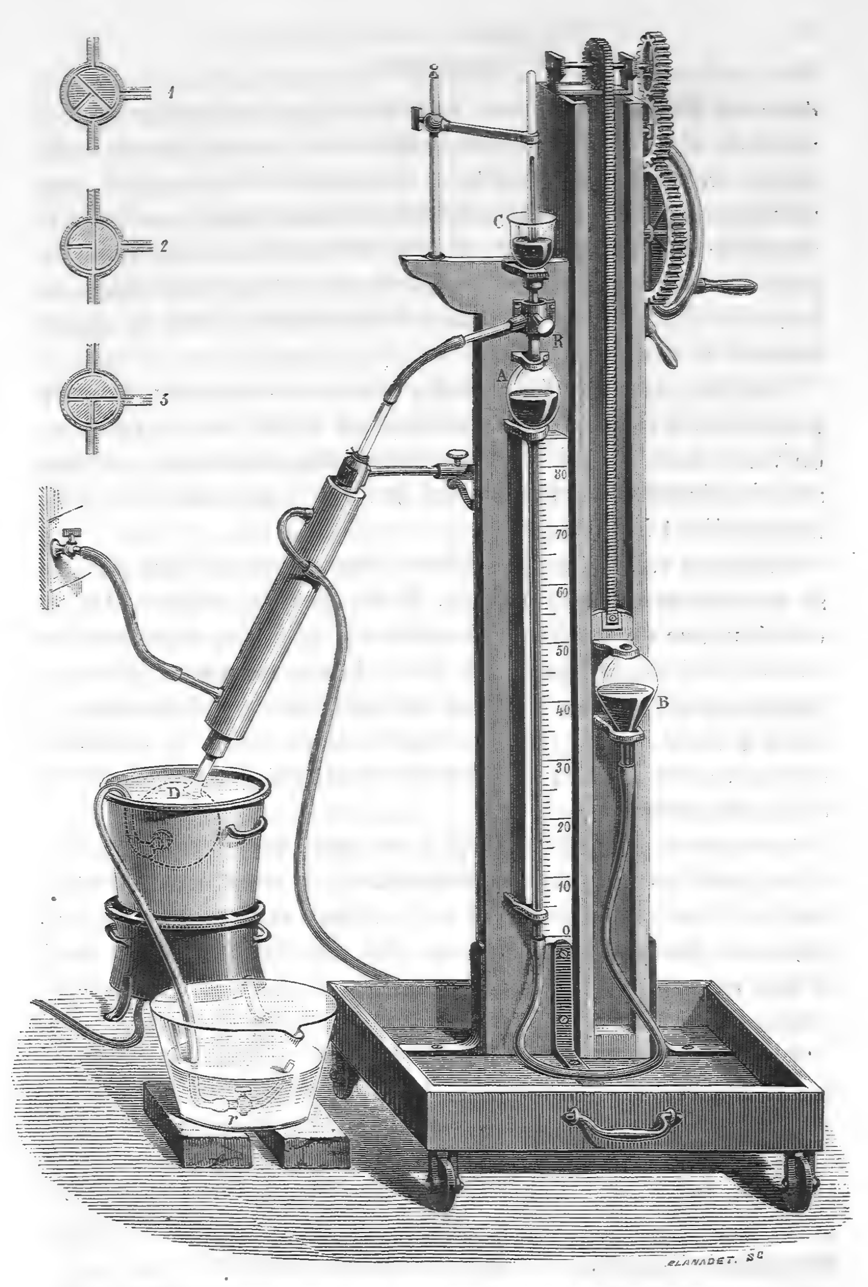


Fig. 16. — Pompe à mercure disposée pour l'extraction des gaz du sang.

A. Chambre barométrique. — B. Boule mobile, en communication avec A par caoutchouc et tube de verre. — C. Cuvette à mercure avec éprouvette graduée pour recueillir les gaz. — — R. Robinet à trois voies pouvant fermer complétement la chambre barométrique (position 1), en faisant communiquer A avec C (position 2), A avec D (position 3)

dans un moment, robinet surmonté par une petite cuve à mercure C. Le tube barométrique est, par sa partie inférieure, relié à l'aide d'un tube de caoutchouc très-épais, avec un réservoir B d'une capacité un peu supérieure à celle de la chambre A. Ce réservoir est fixé sur une pièce de bois qui peut monter et descendre en glissant, dans une double rainure, à l'aide d'un système d'engrenages dont la figure montre la disposition.

Tout le jeu de l'appareil dépend à vrai dire des diverses positions du robinet R. Ce robinet est à trois voies ; l'anneau de verre dans lequel il tourne communique par trois orifices avec la chambre barométrique, la cuve à mercure et le tube latéral allant à l'extérieur.

Quant au robinet en lui-même, il est percé de deux canaux se rencontrant à angle droit. Il est aisé de comprendre la conséquence de ses diverses positions, qui sont représentées sus le côté de la figure 16. En 1, toute communication est interrompue, et la chambre barométrique est hermétiquement fermée ; en 2, il y a communication entre la chambre et la cuve à mercure ; en 3, communication entre la chambre et le tube latéral.

Ce robinet de verre, lorsqu'il est convenablement graissé, tient parfaitement le vide. Cependant, de peur que quelques bulles d'air, pénétrant entre le robinet et son anneau, ne viennent fausser les résultats, j'ai fait envelopper le tout d'une capsule de fer et de caoutchouc que l'on maintient pleine d'eau.

Pour en finir avec les détails de construction, j'indiquerai la règle divisée, qui permet de mesurer la hauteur de la colonne mercurielle, ce qui est souvent utile; enfin, tout l'appareil est fixé sur une caisse en bois munie de roulettes et de vis calantes, et entouré de rebords destinés à recueillir le mercure qui tombe fréquemment et se perdrait en notable quantité pendant les diverses manipulations.

Il est bien évident qu'en versant du mercure dans le réservoir B préalablement amené au point le plus élevé de sa course, on peut, le robinet R étant amené dans la posi-

tion 2, chasser l'air contenu dans le tube et la chambre barométrique, et le remplacer par le mercure, qui monte même alors dans la cuve C. Si alors on ferme le robinet R (position 1), et que l'on descende le réservoir B jusqu'au bas de la rainure, le mercure s'abaissera dans le tube, de manière à se maintenir à 76^{c} au-dessus du niveau du réservoir B : en d'autres termes, on aura le vide barométrique dans la chambre A. Si alors on tourne le robinet R de manière (position 3) à mettre cette chambre en communication avec le tube latéral qui, dans notre figure, communique à un système de manchon et de ballon qui ne sert que pour l'extraction des gaz du sang, une certaine quantité d'air extérieur s'introduit, et le mercure descend dans le tube barométrique. Fermant alors le robinet (position 1), on maintient ainsi emprisonnée une certaine quantité de cet air; et si l'on a besoin d'en recueillir pour une analyse, il suffit de remonter le réservoir B, de replacer le robinet R dans la position 2, et l'air chassé par le mercure qui remonte, traverse la petite cuve C et pénètre dans l'éprouvette renversée qui est prête à le recevoir.

L'invention de la pompe à mercure est d'ordinaire attribuée aux constructeurs allemands, et, avec cet amour de la réclame étrangère qui nous est habituel, nous décorons assez souvent cet instrument du nom de pompe de Geissler. La vérité est que l'invention en appartient en principe à M. Regnault. Il y a longtemps que le célèbre professeur du Collége de France avait inventé une pompe fort analogue, munie de ce robinet à trois voies, qui est la maîtresse pièce de l'instrument. Seulement, comme à cette époque on n'employait guère le caoutchouc dans la construction des appareils, il avait, au lieu d'un réservoir mobile, mis son tube barométrique en communication avec deux réservoirs placés l'un en bas, l'autre en haut; ceci entraînait, on le comprend, un système assez compliqué de tubes et de robinets. Mais le principe était le même, et l'adjonction d'un tube de caoutchouc n'a certes pas une importance suffisante pour nous faire oublier le véritable inventeur.

Rien de plus simple maintenant que de comprendre comment cet instrument peut être appliqué à l'extraction de l'air contenu dans les cloches de l'appareil représenté figure 15. Il suffit d'ajouter au tube latéral, qui dans la figure 16 communique avec le ballon D, un tuyau de caoutchouc pouvant supporter le vide, et, qui coiffe par son autre extrémité le robinet M placé au sommet de la cloche où se trouve l'animal en expérience. Ce robinet étant fermé, le vide étant fait dans la chambre A, je mets le robinet R dans la position 3 de manière à aspirer l'air contenu dans le tuyau de caoutchouc S ; je ferme alors le robinet R (position 1), j'amène le réservoir B au sommet le plus élevé de sa course, je place le robinet dans la position 2, et l'air s'échappe en traversant le mercure de la cuve, sur laquelle on n'a pas encore renversé l'éprouvette. En répétant deux ou trois fois de suite cette manœuvre, on arrive à faire le vide complet dans tout l'appareil, y compris le tuyau de caoutchouc, comme le prouve le choc brusque du mercure (le *marteau* de mercure) contre le robinet fermé R, choc dont il faut modérer la violence en relevant avec précaution le réservoir.

Ceci fait, le réservoir B étant alors abaissé au maximum, et le robinet R mis dans la position 3, j'ouvre le robinet de communication entre la cloche où je veux prendre l'air, et le tuyau de caoutchouc. Évidemment, une certaine quantité de l'air de la cloche se précipite et remplit la boule A. Par précaution, je chasse encore cet air, de peur que le vide n'ait pas été parfait dans le tube latéral et dans la chambre barométrique, et je recommence la même manœuvre. Mais cette fois, je renverse sur la cuve C un tube gradué plein de mercure, et le gaz comprimé dans la chambre A, par suite du relèvement du réservoir B, est amené dans le tube bulle à bulle, par un passage très-prudemment ménagé de la position 1 du robinet à la position 2. Le gaz ainsi recueilli peut être aisément transporté pour l'analyse.

Celle-ci est faite sur la cuve à mercure, au moyen d'une dissolution de potasse, pour absorber l'acide carbonique, puis d'une autre dissolution d'acide pyrogallique, pour absorber

l'oxygène. Les différences de niveau, mesurées dans le tube gradué, donnent par un calcul très-simple la composition centésimale du gaz. Ce procédé d'analyse, extrêmement commode et rapide lorsqu'on a soin d'agiter fortement le tube, surtout après l'introduction de l'acide pyrogallique, m'a paru préférable à tout autre.

Un physiologiste allemand qui visitait mon laboratoire me reprocha gravement, un jour, de mesurer les différences de niveau sans l'usage d'un cathétomètre; de ne pas employer la méthode Bunsen, par boules de potasse et de phosphore, qui donne des résultats plus précis; de ne pas déduire la valeur de la colonne de liquide qui diminue de 2 ou 3 centimètres d'eau la tension de l'air contenu dans le tube gradué; enfin, de ne pas tenir compte de la petite quantité d'oxyde de carbone qui peut se former pendant l'absorption de l'oxygène par le pyrogallate de potasse. Je ne rapporterais pas ici ces critiques puériles, si elles ne fournissaient un exemple tout à fait caractéristique d'une erreur de méthode très-commune de l'autre côté du Rhin, et que des pédants prétentieux voudraient importer en France. J'ai souvent eu déjà l'occasion de dire mon sentiment au sujet de cette recherche oiseuse et dangereuse d'une fausse exactitude. J'en parle à propos des analyses actuelles, pour dire que es causes d'erreurs signalées ne touchent qu'à la troisième décimale, laquelle j'ai eu soin de ne jamais mettre en ligne. Le lecteur verra plus loin, quand je discuterai les résultats des expériences, comment des circonstances qu'il est impossible de prévoir et très-souvent d'expliquer peuvent faire varier les nombres fournis par les analyses dans la première décimale ou même dans le chiffre des unités. La préoccupation d'une troisième décimale serait donc une naïveté.

Ces observations se rapportent, bien entendu, à toutes les analyses de gaz que l'on trouvera énumérées dans le présent travail, qu'il s'agisse d'air comprimé ou dilaté, de gaz extraits du sang, etc....

§ 2. — Expériences.

A. — *Expériences faites sur les Oiseaux.*

Ce sont de beaucoup les plus nombreuses.

Les moineaux (moineau franc, *Fringilla domestica*, Lin. et moineau friquet, *Fringilla montana*, Lin.) m'ont tout particulièrementservi dans ces expériences et dans celles relatives à l'augmentation de pression.

Je commence par indiquer quelques expériences dans lesquelles la mort dans l'air confiné a eu lieu à la pression normale. Elles nous serviront de termes de comparaison pour les autres.

EXPÉRIENCE I. — 21 mars, temp. 15°. Moineau franc, vigoureux, pesant 31gr.

Placé sur la cuve à mercure dans une cloche mesurant 1 litre ; une rondelle de liége le sépare du mercure.

Mis à $1^h 40$; mort à $2^h 45$: durée de la vie, $1^h 5^m$.

Composition de l'air mortel : O 3,0; CO^2 14,8.

Addition de l'oxygène restant et de l'acide carbonique formé :

$$CO^2 + O = 17,8;$$

Rapport de l'acide carbonique formé à l'oxygène disparu :

$$\frac{CO^2}{O} = \frac{14,8}{17,9} = 0,82.$$

EXPÉRIENCE II. — 18 mars. Moineau franc.

Cloche de $1^l,9$. Mis à $1^h 10^m$, mort à $3^h 5^m$. La dépression finale est par suite de l'absorption, de $2^c,3$. Il n'y a pas de tache sanguine au crâne.

Air mortel : O 4,2; CO^2 14,6.

$$CO^2 + O = 18,8 ; \frac{CO^2}{O} = 0,87.$$

EXPÉRIENCE III. — 20 juillet; temp. 24°. Moineau franc.

Cloche de $1^l,3$. Mis à $3^h 15$, pression normale. N'était pas mort à $6^h 15^m$, meurt vers 7 heures.

Air mortel : O 3,3; CO^2 16,0.

$$CO^2 + O = 19,3 ; \frac{CO^2}{O} = 0,86.$$

J'arrive maintenant aux expériences faites à l'aide de l'appreil représenté figure 15, page 528.

Expérience IV. — 24 mars, temp. 15°, pression 75c. Moineau franc. Cloche de 5 litres.

Mis à 2h 4m. Commencé courant d'air avec la pompe à vapeur, le robinet M étant ouvert. A 2h 10m, 10c de dépression; à 2h 12m, 15c; à 2h 14m, 20c; à 2h 17m, 25c; à 2h 20m, 30c.

On ferme le robinet et on continue à décomprimer. A 2h 23m, 32c; à 2h 30m, 40c; à 2h 37m, 52c : pression réelle 23c.

On ferme alors le robinet D. La pression se maintient parfaitement à 23c avec absorption d'environ 1 demi-centimètre. L'animal meurt à 3h 55m, et a ainsi vécu dans 5 litres d'air à 22c,5, qui représentent environ 1l,4 à la pression normale, pendant 1h 35m.

Composition de l'air mortel : O 10,3; CO^2 7,5.

$$CO^2 + O = 17,8 ; \quad \frac{CO^2}{O} = 0,70.$$

Expérience V. — 25 mars; temp. 15c; press. 75c. Moineau franc. Cloche de 3l,200.

Mis à 1h 50m : courant d'air. A 1h 53m, 10c de diminution; à 1h 59m, 21c; à 2h 2m, 33c; à 2h 5m, 45c; fermé les robinets : pression réelle 29c.

Air mortel : O 9,3; CO^2 11,2.

$$CO^2 + O = 20,5 ; \quad \frac{CO^2}{O} = 0,96.$$

Expériences VI à IX, simultanées. — 6 mai; temp. 16°; pression 76c,4. Moineaux friquets mâles, vigoureux.

VI. — Cloche de 2l 5.

Mis à 3h 42m. Laissé à la pression normale. A 6h, très-malade; 128 respirations; à 6h 25m, 120 respirations. Meurt à 7h 5m. A vécu 3h 23m.

Air mortel : O 3,5; CO^2 14,6.

$$CO^2 + O = 18,1 ; \quad \frac{CO^2}{O} = 0,84.$$

VII. — Cloche de 3l, 2.

Mis à 3h 42m. Courant d'air; à 3h 55m, 6c de diminution; à 4h, 16c; à 4h 4m, 21c,4. Fermé les robinets. Pression réelle 55c.

A 4h 19m, assez tranquille, 120 respirations; à 5h 8m, 116 respirations; à 6h, 112 respirations, ne paraît pas malade; à 6h 25m, 108 respirations, encore assez bien. Meurt à 8h 35m.

A vécu 4h 31m, dans 3l,2 d'air à 55c, qui représentent 2l,3 à 76c.

Air mortel : O 4,5; CO^2 14,4.

$$CO^2 + O = 18,9 ; \quad \frac{CO^2}{O} = 0,84.$$

VIII. — Cloche de 5^l.

Mis à 3^h 42^m : courant d'air. A 3^h 55^m, 8^c de diminution ; à 4^h, 16^c ; à 4^h 4^m, 19^c ; à 4^h 7^m, 40^c. Pression réelle $36^c,4$. Fermé les robinets.

A 4^h 19^m, 150 respirations, tranquille ; à 5^h 8^m, 126 respirations ; à 6^h, très-malade, 128 respirations ; à 6^h 25, 150 respirations ; meurt à 7^h 10^m.

A vécu 3^h dans 5^l d'air à $36^l,4$, qui représentent $2^l,4$ à 76^c.

Analyse perdue.

IX. — Cloche de $11^l,5$.

Mis à 3^h 42^m : courant d'air. A 3^h 55^m, 14^c de diminution ; à 4^h, 29^c ; à 4^h 4^m, 38^c ; à 4^h 7^m, 52^c ; à 4^h 11^m, 59^c. Fermé les robinets. Pression réelle $17^c,4$.

Très-malade de suite. A 4^h 19^m, 140 respirations ; à 4^h 22^m, meurt avec des convulsions. A vécu 11 minutes.

Air mortel : O 19,6 ; CO^2 0,6.

Expériences X à XII, simultanées. 11 mai ; temp. 16° ; press. $75^c,5$.

X. — Friquet mâle. Cloche de $2^l,2$.

De 3^h 20^m à 3^h 22^m la pression est abaissée brusquement à 20^c. Immédiatement, affaissement de l'oiseau, et mort à 3^h 24^m, après convulsions. On ne croit pas devoir prendre d'air pour l'analyse.

Le cœur gauche contient du sang noir ; pas de gaz dans le sang.

XI. — Moineau franc. Cloche de $3^l,2$.

Amené de 3^h 15^m à 3^h 17^m à $24^c,5$ de pression. S'affaisse un moment, puis revient très-bien à lui. Meurt à 3^h 52^m. A vécu 38 minutes dans une cloche dont la capacité, ramenée à 76^c, représentait $1^l,03$ d'air.

Air mortel : O 12,8 ; CO^2 6, 2.

$$CO^2 + O = 19,0 ; \frac{CO^2}{O} = 0,76.$$

XII. — Moineau franc. Cloche de $4^l,6$.

Amené en quelques minutes à $34^c,3$ de pression : paraît à peine s'en apercevoir. Robinets fermés à 3^h 9^m.

A 4^h 50^m, bien malade, mais encore sur ses pattes. Mort à 5^h 45^m. A vécu 2^h 34^m dans une quantité d'air représentant $1^l,89$ à 76^c.

Air mortel : O 8,2 ; CO^2 10,8.

$$CO^2 + O = 19,0 ; \frac{CO^2}{O} = 0,85.$$

Expériences XIII à XV, simultanées. — 24 mai ; temp. 17° ; pression $76^c,5$. Moineaux francs.

XIII. — Cloche de $2^l,5$.

Mis à 3^h 31 : courant d'air. A 3^h 35^m, 37^c de pression réelle : fermé les robinets. L'animal ne paraît pas mal à son aise.

Meurt à 5^h 20^m. A vécu 1^h 45^m dans une quantité d'air qui représente

$1^l,22$ d'air à 76^c. Légère absorption d'environ $1/2^c$ de mercure : la pression finale n'est donc plus que de $56^c,5$.

Air mortel : O 7,2; CO^2 11,5.

$$CO^2 + O = 18,7; \frac{CO^2}{O} = 0,84.$$

XIV. — Cloche de $5^l,2$.

Commencé à $3^h\ 24^m$. A $3^h\ 27^m$, pression réelle de $28^c,5$: l'oiseau ne tombe pas; on ferme les robinets.

Meurt à $4^h\ 56^m$. A vécu $1^h\ 30^m$ dans une quantité d'air correspondant à $1^l,19$: absorption d'environ $1/2^c$; la pression réelle est donc de $27^c,8$.

Air mortel : O 7,9; CO^2 10,3.

$$CO^2 + O = 18,2; \frac{CO^2}{O} = 0,79.$$

XV. — Cloche de $4^l,6$.

Commencé à $3^h\ 10^m$. A $3^h\ 15^m$, 51^c de diminution : l'oiseau tombe. A $3^h\ 17^m$, 55^c de diminution; on ferme les robinets : pression réelle, $21^c,5$.

A $3^h\ 25^m$, l'oiseau se relève et paraît beaucoup moins mal à l'aise. A $4^h\ 42^m$, agitation convulsive assez violente. Dernier mouvement à $4^h\ 55^m$. A vécu $1^h\ 40^m$ dans une quantité d'air correspondant à $1^l,3$.

Air mortel : O 11,8; CO^2 7.

$$CO^2 + O = 18,8; \frac{CO^2}{O} = 0,77.$$

Expériences XVI à XIX, simultanées. — 31 mai; temp. 19°. Pression $75^c,8$. Moineaux jeunes, mais vigoureux.

XVI. — Cloche de 5^l.

Commencé à $3^h\ 43^m$. A $3^h\ 53^m$, la pression réelle n'est plus que de $19^c,7$. On ferme les robinets.

L'oiseau est resté tout le temps immobile; mais vers 45 à 50^c de diminution, il devient inquiet, puis malade. Au moment où l'on ferme les robinets, il semble qu'il doive bientôt mourir. Mais vers 4^h il va notablement mieux.

Mort à $5^h\ 30^m$. A vécu $1^h\ 45^m$ dans une quantité d'air correspondant à $1^l,30$.

A $5^h\ 42^m$, la température rectale est de 25°,6 : il n'y a pas de rigidité cadavérique. A $5^h\ 55^m$, la température est de 22°,8 et il y a rigidité, qui est ainsi survenue en moins de 25 minutes.

Air mortel : O 12,9; CO^2 7,0.

$$CO^2 + O = 19,9; \frac{CO^2}{O} = 0,87.$$

XVII. — Cloche de $4^l,6$.

Commencé à $3^h,45^m$. Depuis qu'il est sous la cloche, l'oiseau s'agite d'une manière continuelle; il en est de même pendant le commencement de la décompression; vers 40 cent. de diminution, il se calme et devient ha-

letant et de plus en plus malade. A 3h 53m, la pression n'est plus que de 20c,8. On ferme les robinets. L'oiseau est fort malade, s'agite violemment et convulsivement et périt à 3h 55m, c'est-à-dire en 2 minutes, dans une quantité d'air correspondant à 1l,27.

A 4h 15m, sa température prise dans le rectum est encore de 31°,6, et la rigidité cadavérique est très-prononcée.

Air mortel : O 20,5; CO^2 0,3.

XVIII. — Cloche de 3l,2.

Commencé à 3h 47m. L'oiseau s'est agité et s'agite comme le précédent, puis il se calme vers 40c de diminution et devient aussitôt assez malade. A 3h 51m, la pression n'est plus que de 27c,8 : on ferme les robinets.

L'oiseau est alors très-malade, et pris de vomissements. Mais il ne tarde pas à se remettre et va assez bien vers 4h. A 6h 30m, meurt sans convulsions. Il a ainsi vécu 2 heures dans une quantité d'air correspondant à 1l,15.

A 6h 42m, sa température rectale est de 21°,4 ; pas de rigidité cadavérique. A 6h 45m, 21° : rigidité commençante. A 6h 47m, c'est-à-dire après 17 minutes, rigidité complète ; tempér. 20°,5.

Air mortel : O 8,5; CO^2 10,9.

$$CO^2 + O = 19,4; \quad \frac{CO^2}{O} = 0,88.$$

XIX. — Pour examiner la marche naturelle de la décroissance de température et de l'établissement de la rigidité cadavérique, je coupe, à 5h 7m, la tête à un moineau semblable aux précédents. La température rectale est de 42°,8. Les mouvements réflexes disparaissent aussitôt; l'œil est insensible, bien que le bec s'ouvre encore spontanément plusieurs fois. Après 3 minutes, la température est de 41°,7; après 15 minutes, de 35°,5; après 23 minutes, de 32°,9; après 38 minutes, de 29°,5. A ce moment, il n'y a pas encore de rigidité cadavérique.

Expériences XX à XXIV, simultanées. — 3 juin; tempér. 20°; pression 76c,3. Moineaux francs.

Ces expériences ont été faites dans le but d'examiner si la dimension des cloches a une influence notable sur la composition de l'air mortel lorsque la dépression est partout la même.

XX. — Cloche de 11l,5.

Commencé à 2h 51m. A 2h 57m, la dépression n'est plus que de 30c,8. Le moineau ne s'est pas agité, il est à peine malade. On ferme les robinets.

A 3h 5m, il titube et vomit, mais se remet assez vite; à 5h 40m, un peu malade; à 9h 30m, très-malade : on extrait de l'air, avec la pompe à mercure, ce qui diminue encore la pression d'environ 1c,5; le malaise de l'oiseau paraît aussitôt augmenté.

Meurt à 9^h 50^m; a vécu 6^h 53^m dans une cloche dont la capacité, ramenée à la pression normale, représenterait $4^l,66$, soit par litre 1^h 28^m.

La température rectale, prise à 9^h 55^m, est de 28°,4; il n'y a pas de rigidité cadavérique, mais celle-ci existe à 10^h 5^m, la température étant de 26°,7.

L'air pris à 9^h 30^m contenait O 8,8; CO^2 9,4.

L'air mortel contenait O 8,3; CO^2 9,8.

$$CO^2 + O = 18,1 \,;\; \frac{CO^2}{O} = 0,78.$$

XXI. — Cloche de 7^l.

Commencé à 2^h 51^m. A 2^h 55^m, pression de $30^c,3$. L'oiseau, qui s'est beaucoup agité, est assez malade, et se tient difficilement sur ses pattes. Les robinets sont fermés. A 5^h 25^m, très-malade.

Meurt à 7^h 20^m. Il a ainsi vécu 4^h 25^m dans une quantité d'air correspondant à $2^l,79$, soit pour un litre 1^h 34^m.

A 7^h 30^m, sa température n'est que de 25°; pas de rigidité ; à 7^h 40^m, trouvé raide.

Air mortel : O 8,2; CO^2 10,1.

$$CO^2 + O = 18,3 \,;\; \frac{CO^2}{O} = 0,79.$$

XXII. — Cloche de 5^l.

Commencé à 2^h 47^m. S'agite beaucoup. A 2^h 51^m, la pression n'est plus que de $26^c,1$. L'oiseau est très-malade et crispé contre le rebord de la cloche.

Meurt à 2^h 53^m. A 3^h 10^m est très-raide. Sa température est de 34°,7.

A vécu 6 minutes. On ne prend pas d'air.

XXIII. — Cloche de 5^l.

Commencé à 3^h 20^m. S'agite beaucoup. A 3^h 24^m, la pression est de $30^c,3$; l'oiseau ne paraît pas malade; on ferme. A 5^h 25^m, très-malade. L'heure de la mort n'a pas été marquée.

Air mortel : O 8,3; CO^2 10,3.

$$CO^2 + O = 18,6 \,;\; \frac{CO^2}{O} = 0,81.$$

XXIV. — Cloche de $2^l,5$.

Commencé à 2^h 51^m. A 2^h 59^m, la pression est de $30^c,5$. S'est agité beaucoup, vomit, mais ne tombe pas. Fermé les robinets.

Vers 3^h 5^m, un peu d'agitation. Meurt à 4^h 30^m.

A 4^h 50^m, 27° de température; rigidité prononcée. A vécu 1^h 31^m dans la cloche, dont la capacité correspond à 1 litre.

Air mortel : O 10; CO^2 10,4.

$$CO^2 + O = 20,4 \,;\; \frac{CO^2}{O} = 0,95.$$

La moyenne des quatre expériences suivies d'analyse d'air est pour la pression de 30^c,5 : O 8,7 ; CO^2 10,1.

Expériences XXV à XXVIII, simultanées, faites dans le même but que les précédentes. — 8 juin. Temp. 20°,5 ; pression 76^c. Moineaux francs.

XXV. — Cloche de 11^l,5.

Commencé à 3^h 45^m. A 3^h 53^m, la pression est de 24^c,2. S'est agité ; un peu malade ; couché, bâille fréquemment ; fermé robinet.

A 4^h 15^m, se remet sur ses pattes ; à 6^h, va assez bien ; à 7^h 30^m, un peu malade ; trouvé mort à 9^h 30^m.

A donc vécu environ 5 heures dans une cloche dont la capacité représente 3^l,66 ; soit, par litre, environ 1^h 22^m.

Air mortel : O 13,7 ; CO^2 5,4.

$$CO^2 + O = 19,1 ; \quad \frac{CO^2}{O} = 0,75.$$

XXVI. — Cloche de 7^l.

Commencé à 4^h. A 4^h 10^m, pression de 24^c,2. S'est beaucoup agité ; a des convulsions et paraît près de périr. Fermé les robinets.

A 4^h 15^m, se remet sur ses pattes ; à 4^h 30^m, très vif, s'agite beaucoup à 5^h, devient malade ; à 6^h, comme assoupi ; à 6^h 20^m, meurt après agitation convulsive violente.

A vécu 2^h 10^m, dans une quantité d'air correspondant à 2^l,22 ; soit, par litre, 58 minutes.

A 6^h 32^m, température rectale 30°,3, n'est pas tout à fait raide ; à 6^h 45^m, raide, température 26°,5.

Air mortel : O 12,6 ; CO^2 7,0.

$$CO^2 + O = 19,6 ; \quad \frac{CO^2}{O} = 0,84.$$

XXVII. — Cloche de 5^l.

Commencé à 4^h 15^m. A 4^h 21^m, arrivé à 24^c,2 de pression ; s'est agité d'abord, puis calmé aux environs de 42^c de diminution, comme du reste, ont fait les précédents ; ne tombe pas. Fermé les robinets.

A 4^h 22^m, titube, vomit, s'accroupit ; mais bientôt se relève et va assez bien.

A 5^h 30^m, très-malade ; à 6^h 10^m, meurt. A vécu 1^h 50^m dans une cloche dont la capacité correspond à 1^l,55 d'air ; soit, par litre, 1^h 10.

A 6^h 21^m, raide ; température 27°,2.

Air mortel : O 11,6 ; CO^2 7,8.

$$CO^2 + O = 19,4 ; \quad \frac{CO^2}{O} = 0,84.$$

XXVIII. — Cloche de 2^l,5.

Commencé à 4^h 16^m ; à 4^h 26^m, la pression est de 24^c,2. S'est agité, mais ne paraît pas en danger.

Meurt à 5^h 30^m ; a vécu 1^h 4^m dans une quantité d'air correspondant à 0^l,79 ; soit, pour un litre, 1^h 21^m.

A 5^h 50^m, trouvé raide; température 27°,5.

Air mortel : O 12,6; CO^2 5,9.

$$CO^2 + O = 18,5; \frac{CO^2}{O} = 0,71.$$

Moyenne des quatre expériences : O 12,6; CO^2 6,5.

Expériences XXIX à XXXII, simultanées. — 10 juin. Température 21°; pression 75^c,5. Moineaux francs.

XXIX. — Cloche de 11^l,5.

Commencé à 2^h. S'agite beaucoup; à 2^h 8^m, 40^c de diminution de pression; se calme un moment, puis s'agite à nouveau. A 2^h 12^m, la diminution est de 47^c; ne bouge plus ; un peu essoufflé. A 2^h 16^m, 55^c de diminution, plus essoufflé, vomit. A 2^h 17^m, la pression n'est plus que de 17^c,5. On ferme les robinets.

L'oiseau respire très-difficilement, et reste couché. Il meurt avec convulsions à 2^h 20^m, c'est-à-dire après 3^m. L'air contient à peine des traces d'acide carbonique.

XXX. — Cloche de 11^l,5.

Commencé à 2^h 45^m; s'agite beaucoup. A 2^h 50^m, la diminution est de 42^c; l'oiseau se calme. A 2^h 53^m, 44^c de diminution : titube, vomit, mais recommence à s'agiter. A 2^h 56^m, 52^c; souffre beaucoup. A 3^h 5^m, 56^c de diminution; tombe, et paraît près de mourir. On laisse rentrer un peu d'air, jusqu'à ce que la dépression ne soit que de 49^c. A 3^h 8^m, l'oiseau paraissant assez bien remis, on recommence; à 3^h 11^m, diminution de 58^c : agitation convulsive, mort imminente ; on revient à 49^c. A 3^h 16^m, assez bien remis; à 3^h 18^m, dépression de 56^c,5; ne va pas trop mal. Fermé les robinets.

A 3^h 35^m, l'oiseau vomit; à 3^h 55^m, comme il n'est pas trop malade, on amène la dépression à 57^c,5, c'est-à-dire la pression à 18^c; il devient aussitôt anxieux, mais la mort n'arrive qu'à 4^h 30^m.

A ainsi vécu 1^h 4^m dans une quantité d'air représentant 2^l,70; soit, par litre, 23 minutes.

Air mortel : O 17,7; CO^2 2,8.

$$CO^2 + O = 20,5; \frac{CO^2}{O} = 0,87.$$

XXXI. — Cloche de 1^l, 9.

Commencé à 3^h 35^m. A 3^h 45^m, la pression est de 41^c,3. On ferme les robinets.

Mort à 5^h 23^m ; à 5^h 30^m, tempér. rectale 28°.

A vécu 1^h 45^m dans une cloche correspondant à 1^l,05; soit, par litre, 1^h 40^m.

Air mortel : O 6,5; CO^2 12,9.

$$CO^2 + O = 19,4; \frac{CO^2}{O} = 0,89.$$

XXXII. — Cloche de $1^l,5$.

Commencé à $3^h 35^m$. A $3^h 45^m$, $48^c,5$ de pression. Fermé.

Mort à $5^h 10^m$. A $5^h 20^m$, temp. $24°,8$. A vécu $1^h 25^m$; la capacité correspondait à $0^l,92$, soit par litre, $1^h 32^m$.

Air mortel : O 5,2 ; CO^2 14,1.

$$CO^2 + O = 19,3 ; \frac{CO^2}{O} = 0,89.$$

Expériences XXXIII-XXXIV, simultanées. — 14 juin. Temp. 22° ; pression 76^c, 5. — Moineaux francs.

XXXIII. — Cloche de $3^l,2$.

Commencé à $4^h 16^m$; agitation médiocre. A 4^h 21, diminution de 45^c, vomit, est fatigué ; à 4^h 22, pression de 25^c ; très-malade. Fermé robinets.

A $4^h 26^m$, encore sur le flanc ; se relève plus tard. Meurt à $5^h 20^m$. A $5^h 31^m$, tempér. 32°, non raide. A $5^h 40^m$, $30°,7$.

Air mortel : O 11,2 ; CO^2 7, 6.

$$CO^2 + O = 18,8 ; \frac{CO^2}{O} = 0,78.$$

XXXIV. — Cloche de 2^l, 8.

Commencé à $4^h 19^m$; agitation médiocre. A $4^h 25^m$, pression de 25^c ; vomit. Fermé robinets.

Moins malade que le précédent. A $4^h 27^m$, on descend à $24^c,5$ de pression ; trés-haletant. A $5^h 27^m$, meurt avec convulsions. A $5^h 40^m$, la température est de $31°,6$; $29°,4$ à $5^h 52^m$. A vécu $1^h 2^m$ dans la valeur de $0^l,9$ d'air; soit, par litre, $1^h 7^m$.

Air mortel : O 11,3 ; CO^2 8,1.

$$CO^2 + O = 19,4 ; \frac{CO^2}{O} = 0,84.$$

Expériences XXXV-XXXVI simultanées. — 26 juillet. Temp. 22° ; pression 76^c. — Moineaux francs.

XXXV. — Cloche de 2^l, 25.

Ramené en quelques minutes à 55^c de pression. Fermé les robinets à $1^h 45^m$.

Mort à $3^h 25^m$. A ainsi vécu $1^h 40^m$, dans une cloche dont la capacité représentait $1^l,6$ à la pression normale ; soit, par litre, $1^h 3^m$. A $3^h 33^m$, tempér. rectale 28°.

Air mortel O 4, 6 ; CO^2 13,4.

$$CO^2 + O = 18,0 ; \frac{CO^2}{O} = 0,81.$$

XXXVI. — Cloche de $3^l,2$.

Ramené à 47^c de pression. Fermé robinets à 2^h. Mort à 3^h 53. A vécu $1^h 53^m$, dans une capacité équivalente à 2^c ; soit, par litre, 57^m.

A 4^h, tempér. rectale 27°.
Air mortel : O 5,5 ; CO^2 12,4.

$$CO^2 + O = 17,9 ; \frac{CO^2}{O} = 0,80.$$

Expérience XXXVII. — 18 mars. Pression 76^c.
Moineau franc, mis à $1^h,45^m$ sous cloche de $3^l,2$. La pression est amenée à 38^c. Mort à $3^h 15^m$. Quelques taches dans le diploë crânien, à la région occipitale. A vécu $1^h 30^m$ dans la valeur de $1^l,6$ d'air, soit par litre, 56 minutes.
Air mortel O 8,2 ; CO^2 11,6.

$$CO^2 + O = 19,8 ; \frac{CO^2}{O} = 0,91.$$

J'ai rendu compte, à dessein, dans les pages qui précèdent, d'un grand nombre d'expériences, afin de montrer ce qu'il y a d'indéfiniment variable dans les phénomènes, et en même temps ce qui se dégage de général de cette variété qui défie à la fois les moyennes illusoires et la prétendue précision des décimales. A coup sûr, lorsqu'un moineau meurt sous une cloche à une certaine pression, l'air de cette cloche a une composition que les méthodes les plus perfectionnées de la chimie moderne pourraient peut-être permettre de déterminer à un dix-millième près. Mais de quoi servirait cette précision, alors que nos expériences nous montrent qu'un autre moineau, en tout semblable au premier, placé dans des conditions en apparence identiques, meurt avec une composition de l'air ambiant qui peut différer de la première de 4 ou 5 dixièmes d'oxygène ou d'acide carbonique, ou même plus? Mieux vaut évidemment multiplier les expériences pour tâcher de trouver l'explication de ces différences, et s'en tenir aux méthodes d'analyse commodes qui permettent d'agir rapidement.

Mais le comble de l'absurde, et c'est malheureusement ce qui se trouve assez souvent dans les travaux allemands, est de prétendre donner à ces dernières méthodes une apparence de précision qu'elles ne comportent pas, en poussant les calculs jusqu'aux 2es et 3es décimales, en s'en rapportant même à la table de logarithmes pour en obtenir davantage. Ce

charlatanisme des décimales, qui amène à donner comme exacts les millièmes dans un nombre faux dès les unités, est un des trompe-l'œil dont il faut le plus se méfier. Précisons notre critique, en l'appliquant au cas présent.

Supposons, dans un tube gradué en dixièmes de centimètres cubes, renversé sur la cuve à mercure, notre mélange gazeux habituel d'azote, d'oxygène et d'acide carbonique. Pour éviter d'avoir à tenir compte dans la première visée d'un ménisque mercuriel convexe, et dans les deux autres d'un ménisque aqueux concave, j'introduis d'abord dans le tube quelques gouttes d'eau pure, et je cherche à déterminer le niveau. Or, en admettant prises les plus grandes précautions, il est impossible d'apprécier, avec une approximation plus grande que un demi-dixième, la hauteur de la colonne liquide. Supposons que j'aie trouvé qu'elle affleure entre $25^{cc},3$ et $25^{cc},4$; mais je ne puis savoir s'il s'agit de $25^{cc},32$ ou de $25^{cc},37$ par exemple. J'ajoute maintenant la potasse, j'agite vigoureusement, à plusieurs reprises, et je plonge à nouveau le tube dans le mercure pour le ramener à la température primitive. Je suppose encore tout au mieux : le niveau actuel sera, par exemple, entre $20^{cc},2$ et $20^{cc},3$, et j'ai à choisir entre $20^{cc},23$ et $20^{cc},28$. Il aura donc disparu, suivant que je prendrai plus ou moins haut mon niveau de ménisque, — et l'on sait combien la visée est difficile pour un liquide incolore, sans parler de ceci, que le ménisque de l'eau pure, dans un tube nécessairement un peu sale, n'est pas le même que le ménisque de l'eau potassée qui mouille parfaitement le verre, — il aura donc disparu, sur une quantité moyenne de $25^{cc},55$, soit $5^{cc},04$, soit $5^{cc},14$ d'acide carbonique, ce qui donne, pour la composition centésimale : dans le premier cas $25,55:100=5^{cc},04:x=19^{cc},88$; dans le second, $25,55:100=5^{cc},14:x=20^{cc},27$. C'est-à-dire, sans tenir compte de la cause d'erreur due à l'opération elle-même, et qui, ici, agit sur la seconde décimale, que mon analyse, si bien faite qu'elle puisse être par la méthode volumétrique, m'expose à une erreur qui peut aller dans le cas particulier actuel jusqu'à 20,27 —

19,88=0^{cc},39. En d'autres termes, la première décimale peut et doit, dans la rapidité nécessaire des analyses, être constamment faussée.

C'est avec cette préoccupation qu'il convient d'envisager tous les résultats de nos analyses; et, ceci étant considéré, personne ne me reprochera de m'être prudemment arrêté à ce chiffre qui indique juste le degré de précision que l'on peut attendre de cette méthode volumétrique d'analyse, pas plus qu'on ne me reprochera de ne pas avoir employé d'autres méthodes, alors que les différences expérimentales, dont nous ne sommes pas maîtres, sont au moins du même ordre, ainsi que je l'ai dit plus haut.

Ces réserves faites, examinons les résultats des expériences que, pour abréger une lecture fastidieuse, j'ai groupées en un tableau d'ensemble en les disposant suivant l'ordre des pressions.

Si l'on examine la colonne 8, qui indique la proportion d'oxygène restant dans l'air devenu irrespirable, on voit que les chiffres qu'elle contient vont en augmentant au fur et à mesure que la pression diminue. Cette règle souffre cependant d'apparentes exceptions que révèle le tableau. Mais si l'on veut considérer les résultats que donnent les analyses d'air devenu mortel faites à la même pression, on voit que les exceptions signalées sont du même ordre que les différences qui séparaient les résultats de ces analyses. Ainsi, à la pression normale, la proportion d'oxygène restant a oscillé entre 3 et 4,2 pour 100; de même, à 24^{c},2, nous la voyons osciller entre 11,6 et 13,7.

Le sens général du phénomène se montre avec bien plus de netteté encore dans la courbe représentée en O, figure 17. Ici les pressions sont mesurées sur l'axe des abscisses, en ordre croissant, et les quantités d'oxygène sont portées sur celui des ordonnées. Nous verrons tout à l'heure que cette courbe, si on fait abstraction des petites irrégularités dont nous avons parlé, répond à une définition géométrique précise, et n'est autre chose qu'une branche d'hyperbole.

La proportion de l'acide carbonique produit suit tout

TABLEAU I.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NUMÉROS D'ORDRE	NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE	PRESSION BAROMÉTRIQUE	CAPACITÉ DE LA CLOCHE	DURÉE DE LA VIE	DURÉE DE LA VIE PAR LITRE D'AIR RAPPORTÉ A 76 C. DE PRESSION	COMPOSITION DE L'AIR MORTEL		TENSION DE L'OXYGÈNE $\frac{O \times P}{76}$	$CO^2 + O$	$\frac{CO^2}{O}$
							O	CO^2			
		°	c	lit.	h. m.	h. m.					
1	I	15	76	1	1 5	1 5	3,0	14,8	3,0	17,8	0,82
2	II	15	76	1,9	1 55	0 57	4,2	14,6	4,2	18,8	0,87
3	VI	16	75	2,5	3 23	1 20	3,5	14,6	3,5	18,1	0,84
4	III	24	75	1,3	3 45	*2 50	3,3	16,0	3,3	19,3	0,86
5	VII	16	55	3,2	4 31	1 57	4,5	14,4	3,2	18,2	0,84
6	XXXV	22	55	2,2	1 40	1 03	4,6	13,4	3,5	18,0	0,81
7	XXXII	21	48,5	1,5	1 25	1 32	5,2	14,1	3,3	19,3	0,89
8	XXXVI	22	47	3,2	1 53	0 57	5,5	12,4	3,4	17,9	0,80
9	XXXI	21	41,3	1,9	1 45	1 45	6,5	12,9	3,5	19,4	0,89
10	XXXVII	»	38	3,2	1 30	0 56	8,2	11,6	4,1	19,8	0,91
11	XIII	17	37	2,5	1 45	1 27	7,2	11,5	3,5	18,7	0,84
12	VIII	16	34,4	5	3 00	1 15	»	»	»	»	»
13	XII	16	34,3	4,6	2 34	1 21	8,2	10,8	3,7	19,0	0,85
14	XX	20	30,8	11,5	6 53	1 28	8,3	9,8	3,4	18,1	0,78
15	XXIV	20	30,5	2,5	1 31	1 31	10,0	10,4	4,0	20,4	0,95
16	XXIII	20	30,3	5	»	»	8,3	10,3	3,3	18,6	0,81
17	XXI	20	30,3	7	4 25	1 34	8,2	10,1	3,2	18,3	0,79
18	V	15	29	3,2	»	»	9,3	11,2	3,5	20,5	0,96
19	XIV	17	28,3	3,2	1 30	1 15	7,9	10,3	3,0	18,2	0,79
20	XVIII	19	27,8	3,2	2 00	1 44	8,5	10,9	3,1	19,4	0,88
21	XXII	20	26,1	5	0 06	»	»	»	»	»	»
22	XXXIV	22	25	2,8	1 02	1 07	11,3	8,1	3,6	19,4	0,84
23	XI	16	24,5	3,2	0 38	0 38	12,8	6,2	4,1	19,0	0,76
24	XXV	20	24,2	11,5	5 00	1 22	13,7	5,4	4,3	19,1	0,75
25	XXVI	20	24,2	7	2 10	0 58	12,6	7,0	4,0	19,6	0,84
26	XXVII	20	24,2	5	1 50	1 10	11,6	7,8	3,6	19,4	0,84
27	XXVIII	20	24,2	2,5	1 04	1 21	12,6	5,9	4,0	18,5	0,71
28	IV	15	23	5	1 35	1 08	10,3	7,5	3,1	17,8	0,70
29	XXXIII	22	23	3,2	»	»	11,2	7,6	3,4	18,8	0,78
30	XV	17	21,5	4,6	1 40	1 17	11,8	7,0	3,3	18,8	0,77
31	XVII	19	20,8	4,6	0 02	»	»	»	»	»	»
32	X	19	20	2,2	0 02	»	»	»	»	»	»
33	XVI	19	19,7	5	1 45	1 20	12,9	7,0	3,3	19,9	0,87
34	XXX	21	18	11,5	1 04	*0 23	17,7	2,8	4,2	20,3	0,87
35	XXIX	21	17,5	11,5	0 03	»	»	»	»	»	»
36	IX	16	17,4	11,5	0 11	»	19,6	0,6	4,5	20,2	»
						Moyenne, sauf les expér. marquées d'un astérisque : $1^h\ 16^m$			Moyenne 3,5		

naturellement une marche inverse, comme le montre la courbe CO^2 qui représente ses modifications.

Ainsi, plus la pression est faible, moins l'air confiné a besoin d'être altéré dans sa composition chimique pour devenir irrespirable. Aux très-basses pressions même, il devient irrespirable tout en étant parfaitement pur, et cela pour une raison que nous indiquerons tout à l'heure. Mais le fait général que nous venons de signaler suffit pour démontrer que

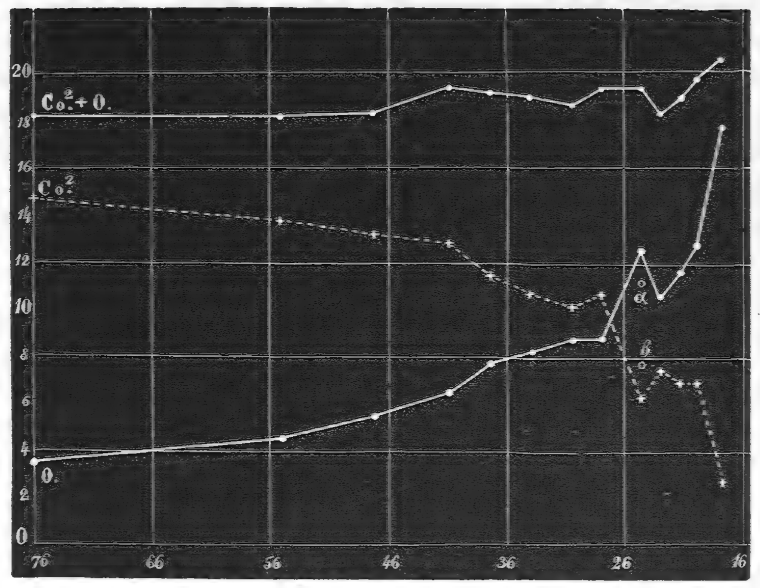


Fig. 17. — Composition de l'air confiné devenu mortel à des pressions inférieures à une atmosphère.

O. Proportions de l'oxygène restant. — CO^2. Proportions de l'acide carbonique. — $CO^2 + O$. Somme de l'oxygène consommé et de l'acide carbonique formé.

l'acide carbonique rejeté dans le milieu confiné n'est ici pour rien dans la mort, puisque sa proportion s'abaisse progressivement à des valeurs minimes. Au reste, des expériences directes, dans lesquelles cet acide était en grande partie absorbé par une dissolution de potasse au fur et à mesure de sa formation, ont montré que la composition de l'air mortel, au point de vue de la richesse en oxygène, n'en était nullement modifiée. C'est donc cette richesse, ou plutôt cette

pauvreté en oxygène, qui est cause de la mort, et qu'il convient d'examiner de près.

Il semble vraiment bien difficile à première vue d'attribuer la mort à la privation d'oxygène dans des expériences où il en restait dans l'air 12, 15, 17 pour 100. Mais cette difficulté disparaît en réfléchissant suffisamment.

En effet, nous savons que lorsqu'un oiseau périt, à la pression normale, dans l'air confiné, cette mort est due (pour la plus grande partie du moins, nous nous expliquerons plus longuement là-dessus plus tard) à la privation d'oxygène, ou, pour parler plus exactement, à la trop faible proportion, et plus exactement encore, à la trop faible tension de ce gaz dans le milieu ambiant. Cette tension peut être exprimée, à la pression normale, précisément par le chiffre qui indique la proportion centésimale. On peut dire, par exemple, que, à une atmosphère, la tension de l'oxygène de l'air ordinaire est de 20,9; et de même, que la tension de l'oxygène de l'air confiné devenu mortel oscille à peu près entre 3 et 4.

Suivant cette convention, la tension de l'oxygène, à une pression plus faible que celle d'une atmosphère, sera évidemment représentée par un nombre obtenu en multipliant la proportion centésimale par le rapport de cette pression à la pression normale, exprimées toutes deux, pour plus de simplicité, en centimètres de mercure. Ainsi, la pression de l'oxygène de l'air ordinaire à 30^{c} de pression sera représentée par le nombre $20,9 \times \frac{30}{76} = 8,2$.

Appliquant maintenant ce simple calcul, dont la formule est $\frac{O \times P}{76}$, à tous les nombres inscrits à notre tableau, nous arrivons aux résultats consignés dans la colonne 10. Or, nous voyons ainsi que, à quelque pression que nos oiseaux aient été placés, leur mort est survenue lorsque la pression de l'oxygène s'est abaissée à des valeurs oscillant entre 3 et 4, 3 : valeurs qui sont précisément celles avec lesquelles l'air devient irrespirable à la pression normale. Le tableau montre que, même à des pressions très-basses, on trouve des

chiffres (nos 28, 30, 33) qui indiquent l'épuisement le plus complet, la tension la plus faible, lorsqu'on a pris des précautions suffisantes, sur lesquelles nous allons revenir dans un moment.

Les différences entre les résultats des analyses aux diverses pressions sont exactement du même ordre que celles qui séparent les résultats obtenus à une même pression. C'est ce qui ressort avec la dernière évidence du graphique de la figure 18, lequel exprime les résultats de la colonne 10. Ainsi, à la même pression de 24c, on a des écarts, comme le montrent les petites croix, aussi grands que ceux du tracé tout entier.

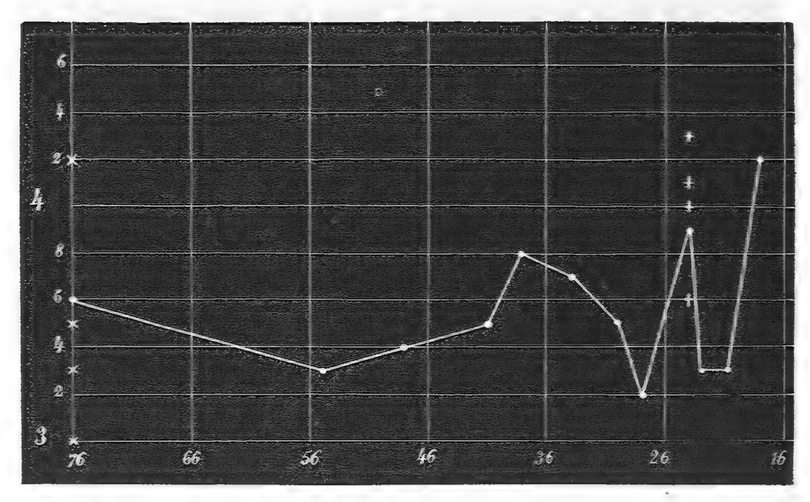


Fig. 18. — Variations dans la *tension* de l'oxygène contenu dans l'air comprimé devenu mortel à diverses pressions moindres qu'une atmosphère.

Ce sont là de ces différences que présentent toujours les expériences faites dans des conditions en apparence identiques.

En résumé, nous arrivons à cette expression très-simple : *Dans l'air confiné, à des pressions inférieures à celle d'une atmosphère, la mort des moineaux arrive lorsque la tension de l'oxygène, mesurée comme il vient d'être dit, est représentée par un chiffre qui oscille environ entre* 3 *et* 4, et que nous pouvons appeler k.

Si nous nous reportons maintenant au tracé O de la figure 17,

nous voyons que chacun de ses points correspond à l'équation $\frac{xy}{76} = k$, d'où $xy = 76k$. Or, k ayant une valeur qui varie de 3 à 4,5, soit 3,6 en moyenne, il en résulte que, pour le point qui correspond à 41^{c} de pression, par exemple, l'équation sera $\frac{41 \times 6,5}{76} = 3,6$. C'est, en d'autres termes, l'équation d'une hyperbole ayant pour asymptotes l'axe des x et une parallèle à l'axe des y placée au zéro des pressions, ou, pour employer l'expression exacte, d'une hyperbole *équilatère*.

Ces faits nous font envisager sous un nouvel aspect l'action de la diminution de pression sur l'organisme. Ils tendent à montrer qu'elle consiste principalement à diminuer la tension extérieure de l'oxygène, et, par suite, à placer l'animal dans des conditions semblables à celles que lui présenterait la respiration à la pression normale dans un milieu moins oxygéné que l'air. On pourrait même affirmer déjà qu'il ne s'y mêle pas d'autre élément important, puisque, à des pressions de 20 à 25^{c}, nous retrouvons dans le tableau les chiffres 3, 1 ou 3, 3 qui indiquent un épuisement aussi considérable qu'à la pression normale.

En poursuivant ce raisonnement, nous pouvons arriver à déterminer la limite inférieure de pression qu'il ne sera pas possible de dépasser sans faire périr les animaux (nous parlons toujours ici des moineaux). Elle sera donnée par les formules $20,9 \times \frac{x}{76} = 3$ et $20,9 \times \frac{x}{76} = 4,3$, puisque 3 et 4, 3 sont les nombres extrêmes que nous ont donnés les expériences ci-dessus rapportées.

On arrive ainsi à $x = \frac{4^{c},3 \times 76}{20,9} = 15^{c},6$, pour le chiffre le plus élevé, et, pour le plus bas, à $x = 10^{c},9$.

Mais il est évident que, pour atteindre à d'aussi basses pressions, il faut prendre les plus grandes précautions, et habituer lentement l'animal à cette asphyxie d'un nouveau genre. Une modification brusque le surprenant avec des

habitudes de consommation oxygénée trop forte, le tuerait, et c'est ce qui nous est arrivé (n°s 21, 31, 32 du tableau), pour des pressions de 20 et même de 26 centimètres. Il ne faut pas oublier que les oiseaux qui périssent dans les récipients d'air confiné y périssent très-lentement, s'y refroidissent et peuvent ainsi vivre pendant longtemps avec une très-faible absorption d'oxygène. Claude Bernard[1] a fait voir avec une admirable sagacité la différence qui existe à ce point de vue entre un animal vigoureux et un animal affaibli.

C'est dans le but d'arriver, en allant lentement, aussi bas que possible, qu'ont été faites les expériences suivantes :

Expérience XXXVIII. — 30 mars. Moineau franc. Cloche de 5^l.

Mis à 2^h. Entretenu courant d'air continu, tout en faisant marcher la pompe pneumatique à vapeur. A $2^h 4^m$, 51^c de pression ; à $2^h 5^m$, 39^c ; à $2^h 6^m$, 33^c, gêné, respiration un peu haletante. A $2^h 7^m$, 25^c : tombe le bec en avant, haletant ; ne se relèvera plus. La pression remonte à 28^c, l'oiseau ne bouge pas ; elle s'abaisse soudain à 24^c ($2^h 9^m$), et l'oiseau saute en titubant, pour retomber aussitôt. A $2^h 11^m$, 22^c, même état ; à $2^h 13^m$, 16^c : agitation assez violente ; on ramène à 20^c ; à $2^h 25^m$, toujours 20^c ; on continue à diminuer ; à $2^h 27^m$, il n'y a plus que 17^c, et à $2^h 30^m$, que 16^c,5. A $2^h 32^m$, le mercure monte tout à coup à 8^c : agitation convulsive et mort. La température rectale est de 32°.

Expérience XXXIX. — Même jour, même appareil.

Mis à $2^h 40^m$. En 1^m, amené à 22^c : tombe sur le flanc, d'où il ne se relèvera pas. A $2^h 43^m$, 20^c ; à $2^h 45^m$, 17^c ; à $2^h 34^m$, 16^c ; à $3^h 15^m$, 15^c,5. Dans les intervalles, la pression s'est à deux ou trois reprises abaissée soudain à 10^c pour se relever aussitôt. L'animal est resté immobile, hérissé, respirant difficilement. Retiré à $3^h 15^m$; est très-froid.

Se remet très-bien après un quart d'heure et survit. A $4^h 30^m$ il a la température normale.

Expérience XL. 2 janvier. — Moineau franc, vigoureux. Pression barom. 755^{mm} ; cloche de 4^l,5.

On commence la dépression, sous courant d'air, à $2^h 35^m$.

A $2^h 55^m$, la pression sous la cloche n'est plus que de 58^c, l'animal est calme ;

A $3^h 05^m$, pression 48^c ; à $3^h 15^m$, 40^c ; à $3^h 25^m$, 30^c ; à $3^h 35^m$, 23^c : l'animal est accroupi sur les tarses ;

[1] *Leçons sur les effets des substances toxiques et médicamenteuses.* Paris, 1857, p. 125.

A 5h 45m, pression 17c; l'oiseau est couché sur le flanc, mais ne paraît pas trop malade;

De 5h 50m à 5h 55m la pression est abaissée à 15c; de 5h 55m à 4h, à 14c; de 4h à 4h 5m, à 11c; de 4h 5m à 4h 10m, à 10c : l'oiseau est sur le flanc, mais assez tranquille.

On laisse rentrer brusquement l'air; l'oiseau se remet aussitôt sur ses pattes; sa température rectale est de 28°. On le réchauffe près du poêle, et il remonte sur le bâton de sa cage. Mais il meurt dans la nuit.

Voici donc des moineaux pour lesquels on a procédé assez lentement pour amener l'affaissement et le refroidissement, et qui ont subi des abaissements de pression tout à fait comparables à ceux qu'indiquaient les calculs précédents. C'est ici une question de prudence et de patience.

Si maintenant nous examinons la colonne 11 du tableau I, nous trouvons des nombres représentant le résultat de l'addition de l'acide carbonique produit et de l'oxygène restant au moment de la mort. Ils ont fourni le tracé $CO^2 + O$ de la figure 17. On voit que ces différents chiffres oscillent entre 17,8 et 20,5 : la moyenne générale est 18,9. Ainsi se retrouve à toutes les diminutions de pression le fait observé par les anciens auteurs, et qui leur avait fait faire de si étranges hypothèses sur la nature de l'asphyxie en vases clos, c'est-à-dire la diminution de l'élasticité de l'air, ou en d'autres termes la disparition d'une certaine quantité d'oxygène qui ne se trouve pas dans l'acide carbonique rejeté au dehors. De plus, — cela est bien évident sur le tracé — cette somme va en augmentant quand la pression diminue : au-dessus de une demi-atmosphère, elle est, en moyenne, de 18,7, et au-dessous elle est de 19,2. Ainsi, aux très-basses pressions, il sort dans l'air extérieur une proportion d'acide carbonique plus forte par rapport à celle de l'oxygène consommé. En étudiant les gaz du sang sous diminution de pression, nous nous rendrons aisément compte de ce phénomène.

Ce n'est pas tout : l'inspection attentive de cette colonne 11 nous montre encore un fait qui n'est pas sans intérêt. Si nous groupons d'un côté tous les cas dans lesquels le chiffre indiqué dans la colonne 10 est compris entre 5 et 3,5, et

de l'autretous ceux où ce chiffre est supérieur à 3,5, nous trouverons que pour la première série la moyenne est de 18,6, tandis que pour la seconde elle s'élève à 19,5. Ceci signifie que plus l'épuisement d'oxygène a été grand, plus grande a été la quantité de ce gaz qu'on ne retrouve pas dans l'acide carbonique exhalé. On peut tirer de là cette conséquence que, dans l'asphyxie en vases clos, quelle que soit la pression, vers la fin de la vie de l'animal, l'oxygène, qu'il continue à absorber en quantité très-faible, reste dans les tissus sous une forme quelconque, sans aller jusqu'à donner naissance à de l'acide carbonique.

Cette conclusion est encore corroborée par l'examen de la colonne 12 du tableau, colonne qui contient pour chaque expérience le rapport entre l'acide carbonique produit et l'oxygène consommé. On voit en effet que ces nombres sont, d'une manière générale, d'autant plus faibles que les pressions sont plus basses. Ainsi, dans les onze premières expériences (au-dessus d'une demi-atmosphère) la moyenne est 0,85, et pour les autres 0,80 seulement. Il en résulte donc que, aux très-faibles pressions, la proportion d'oxygène qui est absorbée sans produire d'acide carbonique est plus considérable qu'aux dépressions moyennes.

J'ai cherché à savoir s'il n'existerait pas quelque rapport entre les chiffres contenus dans les colonnes 5, 7 et 10, qui expriment divers éléments importants de nos expériences. Pour permettre de saisir ces rapports, j'ai disposé un triple graphique dans lequel les expériences sont rangées suivant les numéros d'ordre de la colonne 1 du tableau I, sur l'axe des abscisses, en telle sorte que les pressions vont en diminuant de gauche à droite. A chacune de ces expériences correspondent trois valeurs portées sur l'ordonnée verticale ; la première, A, exprime la tension finale de l'air confiné (colonne 10); la seconde B, la durée de la vie (colonne 7) : cette durée est calculée en rapportant à 76 centimètres le volume de l'air raréfié, et en cherchant combien de temps ont vécu les oiseaux pour chaque litre d'air; la troisième C, représente le volume de l'air raréfié rapporté à la pression de

76 centimètres de mercure, et permet de comparer les quantités réelles d'air qu'ont eues les oiseaux à leur disposition.

On ne voit pas de rapports bien nets entre le tracé A qui exprime la tension de l'oxygène à la fin de l'expérience, et le tracé B qui exprime la durée de la vie des oiseaux. Il résulte de la comparaison des deux graphiques, que l'épuisement plus ou moins grand de l'air (A) n'est rien moins qu'en rapport constant avec la durée de la vie (B), une durée très-courte pouvant coïncider avec un épuisement considérable (expérience 8) ou inversement (expérience 15). Cependant, si l'on prend la moyenne de la durée de la vie correspondant aux épuisements avancés (au-dessous de 3,5, colonne 10), on trouve le chiffre de 1 heure 11 minutes; tandis qu'en faisant le même calcul pour les faibles épuisements, on trouve 1 heure 23 minutes (la moyenne générale étant, colonne 7, de 1 heure 16 minutes). Ainsi, d'une manière générale, plus l'animal vit longtemps, plus il épuise l'air, et cela n'a rien que de très-naturel.

Nous enquérant ensuite de la durée de la vie dans ses rapports avec la capacité des cloches où mouraient les animaux, et laissant de côté les cas tout à fait exceptionnels, comme ceux des expériences 16, 21, 31, 32, et même 35 et 36, nous voyons que, au premier coup d'œil, le graphique C, qui exprime ces volumes variés n'a rien de commun avec le graphique B. Une capacité très-considérable peut coïncider avec une durée médiocre de la vie (expériences 13, 24), ou inversement (expérience 9). Mais si, comme dans le cas précédent, nous considérons les capacités correspondant aux durées de vie plus longues que la moyenne (1 heure 16 minutes), nous trouvons que leur valeur moyenne est de 2 litres, tandis que, pour les morts plus rapides, la valeur n'est que de 1^{lit},5. Donc, d'une manière générale encore, la vie est plus longue quand la capacité des vases est plus grande (le tout rapporté, cela est évident, à l'unité de volume et à l'unité de pression).

Nous retrouvons ainsi, non modifiée par l'influence de la diminution de pression, une loi qu'avait autrefois formulée

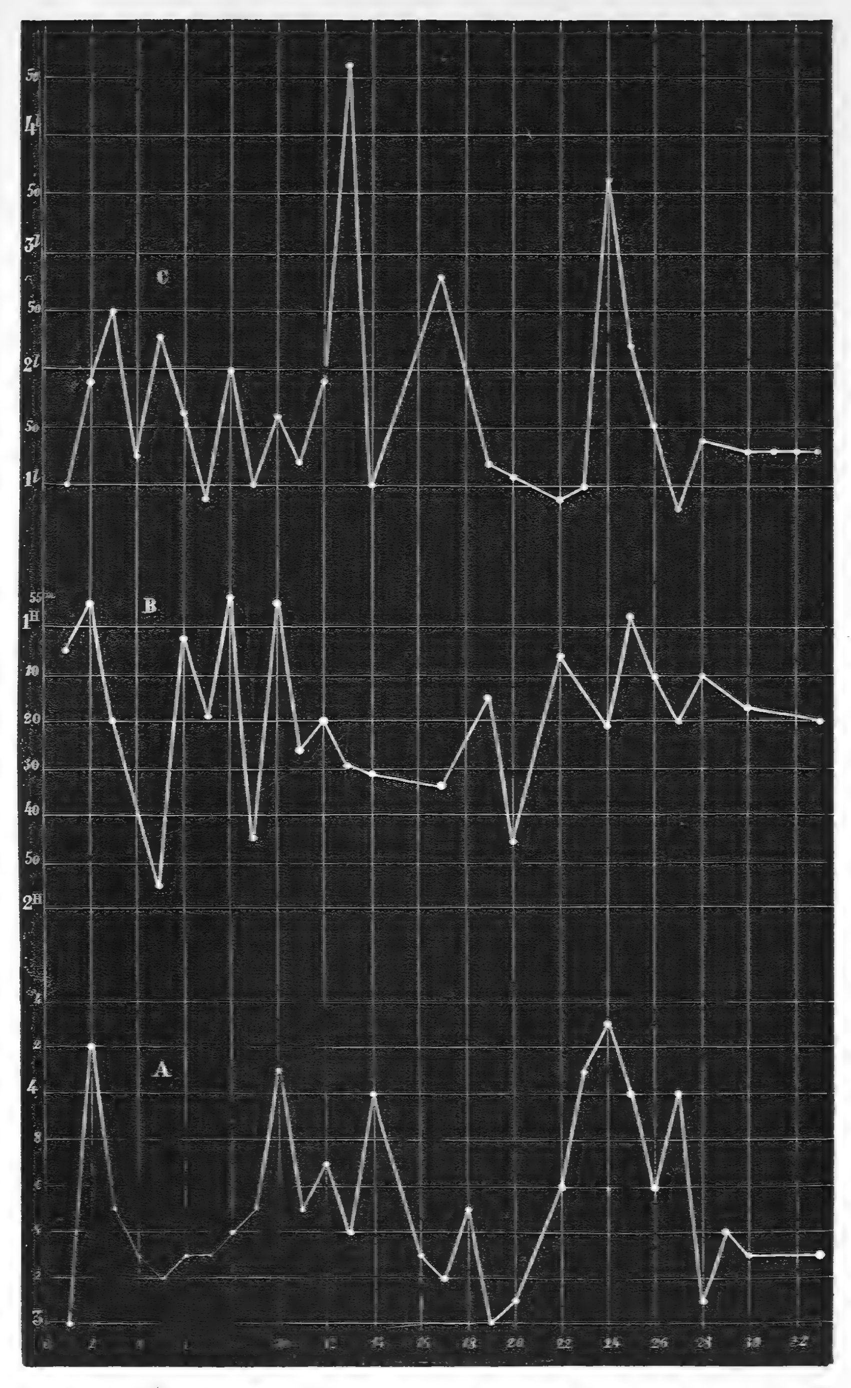


Fig. 19. — Rapports entre la tension de l'oxigène (tracé A), la durée de la vie (B) et la capacité réelle des vases (C) dans la mort en vases clos sous diminution de pression.

M. Claude Bernard, tout en en signalant les nombreuses exceptions : les principales sont dues au repos ou à l'agitation de l'animal renfermé, qui use plus ou moins vite la quantité d'air l'aissée à sa disposition.

Il nous reste maintenant à comparer les graphiques A et C, c'est-à-dire la capacité des vases avec l'épuisement d'oxygène. Ici encore, les tracés concordent peu. Nous rencontrons même des résultats forts opposés les uns aux autres, comme celui de l'expérience 19, où, à un vase étroit, correspond un épuisement maximum, et celui de l'expérience 24, où, dans un très-grand vase, il y a eu peu d'épuisement, comparés aux expériences 14 et 16 qui parlent en sens inverse. Mais si l'on prend des moyennes, on voit que les chiffres inférieurs à 3,5 (graphique A) correspondent à une moyenne de $1^{lit},8$, tandis que ceux qui sont supérieurs correspondent à $1^{lit},6$. Il y a donc en somme quelque avantage pour les vases de grande capacité, et c'est encore une conclusion en rapport avec celles de M. Cl. Bernard. Mais les différences sont bien faibles, et l'on comprend, en examinant ces résultats assez nombreux, les apparentes contradictions des expérimentateurs.

Ainsi, à quelque point de vue que nous nous placions, nous trouvons que les résultats des expériences sous diminution de pression concordent avec tout ce que nous savions sur l'asphyxie en vases clos. Nous sommes donc de plus en plus entraînés à ne voir dans la raréfaction de l'air qu'un procédé *d'ordre physique* qui tend à la même fin que l'appauvrissement en oxygène, procédé *d'ordre chimique*. Les faits suivants corroborent encore cette manière de voir.

On sait que, à de très-basses températures, et sous la pression normale, les animaux épuisent notamment moins l'oxygène de l'air où ils sont maintenus confinés, qu'ils ne le font à une température moyenne. En est-il ainsi pour la mort en vases clos à de basses pressions? Les expériences suivantes permettent de répondre à cette question :

Expériences XLI-XLIII, simultanées. — 12 décembre. Pression 77^c. La température du laboratoire est de $+6°$. Les moineaux étant placés sous les

cloches, on entoure celles-ci de neige, et la température s'y abaisse environ à $+2^{\circ}$.

XLI. — Cloche de $2^{l},25$.

Mis à 2^{h} 40^{m}. La pression est ramenée à 54^{c}, et le froid l'abaisse à 52^{c}. L'oiseau est trouvé mort à 4^{h}.

Air mortel : O 8,3; CO^{2} 11,4.

$$CO^{2} + O = 19,7;\ \frac{CO^{2}}{O} = 0,90.$$

XLII. — Cloche de $3^{l},2$.

Mis à 2^{h} 50^{m}. Pression amenée à 44^{c} par le vide et le froid. A 4^{h} respire très-mal ; à 4^{h} 15^{m}, mort. A vécu 1^{h} 20^{m} dans une quantité d'air correspondant à 2^{l}, sous la pression normale, c'est-à-dire 40^{m} par litre. A 4^{h} 35, température rectale 18^{0}.

Air mortel : O 7,6; CO^{2} 12,0.

$$CO^{2} + O = 19,6;\ \frac{CO^{2}}{O} = 0,90.$$

XLIII. — Cloche de 5^{l}.

Mis à 3^{h}. Pression amenée à $27^{c},5$. Vivant à 4^{h} 35^{m}. Trouvé mort à 5^{h} 5^{m}.

Air mortel : O 10,4; CO^{2} 8,8.

$$CO^{2} + O = 19,2;\ \frac{CO^{2}}{O} = 0,83.$$

Expérience XLIV. — 13 décembre. Tempér. extér. $+6^{\circ}$. Pression 77^{c}.

Moineau mis dans cloche de $3^{l},2$, à 2^{h} 45^{m}. Pression amenée, y compris l'action consécutive du froid, à $30^{c},5$. On entoure la cloche de glace et de sel mélangés.

A 3^{h} 35^{m}, encore vivant; à 3^{h} 45^{m}, mort. A vécu environ 55 minutes dans la valeur de $1^{l},28$ d'air, soit 43^{m} par litre

La température de la cloche est à ce moment de -5^{0}. La température de l'animal dans le rectum est de $+16^{0}$.

Air mortel : O 11; CO^{2} 8,8,0.

$$CO^{2} + O = 19,8;\ \frac{CO^{2}}{O} = 0,89.$$

Expériences XLV-XLVI simultanées. — 14 décembre. Tempér. $+6^{0}$. Pression $76^{c},5$. — Moineaux francs.

XLV. — Cloche de $3^{l},2$.

Mis sous cloche à 12^{h} 50^{m}; pression amenée en tout à $29^{c},5$.

La cloche est entourée de glace et de sel. Le thermomètre intérieur marque $+1^{0}$ à 1^{h}; à 1^{h} 20^{m}, il est à -2^{0}; à 1^{h} 35^{m}, à -4^{0}; à 2^{h} 5^{m}, à -4^{0}.

A 2^{h} 5^{m}, l'oiseau est encore vivant; est mort à 2^{h} 10^{m}. A ainsi vécu 1^{h} 20^{m} dans la valeur de $1^{l},24$ d'air; soit par litre 1^{h} 4^{m}. A 2^{h} 17^{m}, température rectale 15^{0}.

Air mortel : O 10,3; CO^2 7,4.

$$CO^2 + O = 17,7 ; \frac{CO^2}{O} = 0,70.$$

XLVI. — Cloche de $5^l,2$.

Mis à 2^h 42^m, Pression amenée à $29^c,5$. Pas de mélange réfrigérant. La température intérieure de la cloche est, à 3^h 5^m, de $+8^o,5$, et à la mort, de $+6^o,5$. A 4^h 15^m, très-malade ; à 4^h 25^m, mort. A vécu 1^h 40^m dans la valeur de $1^l,24$ d'air ; soit par litre 1^h 20^m. A 4^h 30^m, la température rectale est de 19°.

Air mortel : O 9,2 ; CO^2 9,2.

$$CO^2 + O = 18,4 ; \frac{CO^2}{O} = 0,79.$$

TABLEAU II.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	TEMPÉRATURE	PRESSION	CAPACITÉ DE LA CLOCHE	DURÉE DE LA VIE	DURÉE DE LA VIE PAR LITRE D'AIR RAPPORTÉE A 76c DE PRESSION	COMPOSITION DE L'AIR MORTEL		$\frac{O \times P}{76}$
						O	CO^2	
XLI	$+2^o$	52^c	$2^l,25$	»	»	8,3	11,4	5,9
XLII	$+2^o$	44^c	$3^l,2$	1^h 20^m	40^m	7,6	12,0	4,4
XLIV	-5°	$31^c,5$	$3^l,2$	55^m	43^m	11,0	8,8	4,4
XLV	-4°	$29^c,5$	$3^l,2$	1^h 20^m	1^h 04^m	10,3	7,4	3,8
XLVI	$+6^o,5$	$29^c,5$	$3^l,2$	1^h 40^m	1^h 20^m	9,2	9,2	3,5
XLIII	$+2^o$	$27^c,5$	$5^l,0$	»	»	10,4	8,8	3,7
					moyenne 57^m			moyenne 4,3

Le tableau II, qui résume ces faits, montre bien nettement qu'en effet, aux basses températures, l'épuisement de l'air est moins complet. Il suffit d'en comparer les chiffres avec ceux qui correspondent, pour les mêmes pressions, dans le tableau I. Les moyennes, à elles seules, sont suffisamment instructives; la tension de l'oxygène a monté de 3,5 à 4,3. Ce n'est pas tout : la moyenne de la durée de la vie s'est abaissée de 1^h,16 minutes à 57 minutes.

On voit que, sous ce double rapport, le parallèle que j'ai établi se poursuit encore exactement. Nous pourrions trouver bien d'autres concordances, en examinant les phénomènes généraux fournis par les animaux : les changements dans la

respiration, la circulation, la température; l'existence ou l'absence des convulsions, etc. Je préfère consacrer à cette étude un chapitre spécial.

Pour le moment, il faut faire un pas de plus, et passer du domaine des inductions dans celui des expériences cruciales. Le problème se présente à nous dans les termes suivants.

Nous avons vu que, dans une atmosphère confinée, à quelque pression que ce soit (au-dessous d'une atmosphère), la mort des moineaux survient lorsque la tension de l'oxygène dans l'air ambiant s'abaisse à 3,6 en moyenne. Quand la pression est suffisamment élevée, le chiffre de la tension n'arrive aussi bas qu'après un certain temps, qu'après un épuisement dû à la respiration de l'animal lui-même; mais l'altération chimique de l'air qui en est la conséquence devient, comme nous l'avons vu, de moins en moins importante au fur et à mesure que la pression diminue; si bien que, vers 15 centimètres de pression, la mort arrive dans de l'air pur : elle arrive même, comme je m'en suis maintes fois assuré, sous courant d'air, et le confinement, l'altération chimique, ne sont alors évidemment pour rien.

Si les troubles divers, dont le détail prendra place ailleurs, qui commencent à se manifester lorsque la pression s'abaisse à 30 centimètres; si les accidents graves qui surviennent vers 25 centimètres; si la mort qui arrive aux environs de 18 centimètres; si tous ces phénomènes sont réellement dus à la faible tension de l'oxygène à ces divers moments, on devra les éviter en augmentant convenablement cette tension, sans modifier pour cela la pression barométrique.

Air suroxygéné : très-basses pressions. — Il est facile d'y arriver en employant de l'air artificiel suffisamment riche en oxygène. Si, dans l'expression $\frac{O \times P}{76}$ qui représente la tension de l'oxygène, la composition centésimale O augmente dans le même rapport que la pression P diminue, la valeur de la tension restera constante; et si cette valeur est suffisante, il ne devra se produire aucun trouble chez l'animal

soumis à l'expérience. Par exemple, si on passe à une demi-atmosphère, il faudra, pour conserver la tension de l'oxygène dans l'air ordinaire à la pression normale, doubler la valeur 20,9 et employer un air artificiel contenant 41,8 pour 100 d'oxygène.

Nous aurons à revenir avec détails sur ce point important dans une autre partie de ce travail. Mais ici, où il ne s'agit que de la mort en vases clos, sous diverses basses pressions, le résultat doit être exprimé d'une autre manière. Nous devrons, si notre présomption se vérifie, arriver à la formule suivante : Quelle que soit la pression employée, quelle que soit la composition de l'air artificiel, la mort des moineaux arrivera toujours lorsque la tension finale de l'oxygène s'abaissera aux environs de la valeur moyenne précédemment établie, c'est-à-dire de 3,6.

Le procédé expérimental mis en usage était le suivant. L'oiseau étant placé sous une des cloches de l'appareil représenté figure 15, je diminuais la pression dans la cloche de 30 à 40^{c}, ce qui, ainsi que nous l'avons vu plus haut, ne paraît pas avoir sur les oiseaux d'effet immédiat fâcheux. Du reste, je mettais aussitôt après le robinet M en communication avec un gazomètre rempli d'oxygène, et je laissais rentrer ce gaz, de manière à revenir à la pression normale. Je recommençais alors à diminuer la pression de ce mélange déjà plus oxygéné que l'air ordinaire, et je remplissais à nouveau avec de l'oxygène. Après trois ou quatre manœuvres analogues, la cloche était remplie d'un mélange suffisamment oxygéné pour pouvoir faire l'expérience en laissant périr l'oiseau sous la diminution de pression que je croyais devoir employer. Je prenais alors une certaine quantité du mélange pour en faire l'analyse.

J'arrive maintenant au récit des expériences; je ne rapporterai ici que celles qui ont été faites à de très-basses pressions. Nous verrons, dans le chapitre consacré à la mort par l'acide carbonique, que cet élément vient compliquer la question pour la pression normale et pour les dépressions médiocres lorsqu'on emploie de l'air suroxygéné. Je veux ici l'éliminer;

la preuve que nous cherchons sera du reste d'autant plus nette, que les pressions employées auront été plus basses.

Expérience XLVII. — 29 janvier. Cloche de 1^{l},9.

Moineau friquet. Amené à 50^{c} de diminution, malade, laissé rentrer oxygène; amené à 60^{c}, à peine malade, laissé rentrer oxygène; amené 66^{c},5, assez malade, laissé rentrer oxygène jusqu'à 40^{c}, puis fait vide jusqu'à 52^{c}.

Fermé robinets à 3^{h} 15^{m}; en prenant de l'air, la dépression devient de 54^{c}; à 3^{h} 45^{m}, bien portant; à 5^{h}, haletant : la pression réelle est 19^{c}. Meurt à 6^{h} 30^{m}, sans un mouvement.

Pression réelle, 18^{c}. Mélange primitif, O 85,9.

Air mortel : CO^2 68,1; O 15,4.

$$\text{Tension de } CO^2 = 68,1 \times \frac{18}{76} = 15,2. \text{ Tension d'O} = 15,4 \times \frac{18}{76} = 3,6.$$

Expérience XLVIII. — 23 avril. Cloche de 1^{l},5.

Amené successivement à 54^{c}, 57^{c}, 62^{c}, 67^{c}, de dépression, et à chaque fois laissé rentrer de l'oxygène, puis laissé rentrer de l'air jusqu'à 61^{c},5 de dépression.

Fermé les robinets à 4^{h} 12^{m}. Trouvé mort à 6^{h} 15^{m}. Suffusions sanguines en nappe dans le diploë crânien. La pression est 14^{c}.

Air mortel : CO^2 48,0; O 23,8.

Tension de CO^2 = 8,8. Tension d'O = 4,3.

Expérience XLIX. — 6 février. Cloche de 1^{l},9.

Amené à 30^{c},50^{c},50^{c} de dépression avec rentrées d'oxygène; puis à 14^{c} de pression. Mis à 2^{h} 20^{m}; s'agite beaucoup; mort à 4^{h} 45^{m}. Suffusions sanguines.

Pression réelle 12^{c},5. Mélange primitif O 88,4.

Air mortel : CO^2 66,0; O 22,2.

Tension de CO^2 = 10,8. Tension d'O = 3,6.

Expérience L. — 29 janvier. Cloche de 2^{l},30.

Amené à 48^{c}, puis 52^{c}, puis 64^{c},5 de dépression avec rentrées d'oxygène et fermé les robinets à 2^{h} 40^{m}.

A 2^{h} 50, pris air, ce qui abaisse la pression réelle à 10^{c}. A 3^{h} 30^{m}, remue encore; à 4^{h} 45^{m}, mort.

Pression réelle 8^{c}. Mélange primitif : O 82,3.

Air mortel : CO^2 37,2; O 41,8.

Tension de CO^2 = 3,9. Tension d'O = 4,4.

Expérience LI. — 1er février. Cloche de 1^{l},55.

Amené à 44^{c} de diminution, s'agitait, laissé rentrer oxygène; amené à 52^{c}, même effet; amené à 65^{c}, s'agitait et vomissait; même manœuvre encore. Amené à 65^{c}, puis pris air, ce qui porte la dépression à 68^{c},7, et

la pression réelle à $6^c,6$. L'oiseau s'agite à chaque coup de pompe; il est de suite fort malade, et meurt en 1^h au plus. Suffusions crâniennes.

Mélange primitif : O 87,0.

Air mortel : CO^2 17,5; O 66,7.

Tension de $CO^2 = 1,5$. Tension d'O $= 5,8$.

Les résultats de ces diverses expériences sont résumés dans le tableau suivant :

TABLEAU III.

1	2	3	4	5	6	7
NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	PRESSION BAROMÉTRIQUE	RICHESSE EN OXYGÈNE DU MÉLANGE PRIMITIF	TENSION DE CET OXYGÈNE A 76 C.	COMPOSITION DE L'AIR MORTEL		TENSION DE L'OXYGÈNE DANS L'AIR MORTEL $\frac{O \times P}{76}$
				O	CO^2	
XLVII	$18^c,0$	85,9	20,3	15,4	68,1	3,6
XLVIII	14,0	»	»	23,8	48,0	4,3
XLIX	12,5	88,4	14,5	22,2	66,0	3,6
L	8,0	82,3	8,6	41,8	37,2	4,4
LI	6,6	87,0	7,5	66,7	17,5	5,8

Un coup d'œil jeté sur la colonne 7 montre que mes prévisions se sont réalisées; les chiffres qui y sont compris ne s'éloignent pas beaucoup de la moyenne trouvée précédemment. Le dernier cependant est notablement plus élevé. Mais on trouve une explication facile de cette différence dans le chiffre inscrit à la colonne 4. L'animal avait été mis, dès le début, dans un air fort riche en oxygène, sans doute, mais où la tension réelle de ce gaz était cependant extrêmement faible. C'était de l'air épuisé, en réalité, et l'oiseau s'est trouvé, dès le commencement de l'expérience, dans des conditions asphyxiques; aussi a-t-il été de suite fort malade.

La vérification de l'hypothèse qui nous avait dirigé se tire également, et peut-être avec plus d'évidence encore, de la considération des pressions auxquelles il a été possible d'amener des oiseaux sans les faire périr immédiatement. Tandis qu'avec l'air ordinaire je ne pouvais guère aller au-dessous de 16^c, nous trouvons ici, dans la colonne 2,

les pressions de 14[a], 12[c], 8[c] et même 6[c],6 centimètres. Et ce qui rend ce fait plus remarquable encore c'est que je n'ai pu employer les précautions sur l'importance desquelles j'ai insisté plus haut, et que la dépression a toujours été brutale.

En appliquant à l'oxygène le raisonnement employé page 552 et en fixant comme limites de la tension minimum d'oxygène compatible avec la vie, les chiffres 3 et 4,2, on en arrive à trouver pour les plus faibles pressions barométriques auxquelles il serait théoriquement possible, dans l'oxygène *pur*, avec toutes les précautions et les lenteurs nécessaires, d'amener les moineaux, avant de les voir mourir, les nombres tirés des équations

$100 \times \frac{x}{76} = 3$ et $100 \times \frac{x}{76} = 4,2$. D'où $x = 2^c,3$ et $x = 3^c,2$.

Il est évident que, dans la pratique on ne saurait atteindre aussi bas.

Le phénomène ultime, c'est-à-dire la mort, n'est pas le seul dont la limite barométrique varie suivant la richesse oxygénée du milieu. Les autres troubles, le malaise, la cessation des mouvements, les vomissements, l'affaissement général sont dans le même cas. Il a toujours été facile de constater que l'oiseau qui paraissait malade à la première diminution de pression quand elle arrivait à 40 cent. par exemple, ne donnait aucun signe de malaise lorsque, après avoir fait rentrer de l'oxygène, je diminuais à nouveau la pression et j'arrivais au même niveau. Il fallait aller plus loin, à 50 cent. par exemple, pour obtenir les mêmes phénomènes morbides.

Les expériences avec l'air suroxygéné ont donc complétement prouvé ce que laissaient voir comme certain les expériences avec l'air ordinaire. Il aurait été possible de tirer une contre-épreuve d'expériences dans lesquelles on aurait employé de l'air pauvre en oxygène. Je pourrais donner avec détails quelques faits de cet ordre; mais la preuve doit être surabondamment faite dans l'esprit du lecteur, et je me contenterai de dire qu'avec de l'air contenant seulement 10,2 pour 100 d'oxygène, il ne m'a pas été possible de dépasser la pression de 28 cent., la tension de l'oxygène étant alors de 3,7.

Il reste donc établi que, soit dans un vase clos, par altération respiratoire, soit sous un courant d'air, la mort arrive dans l'air raréfié par suite de la diminution de tension de l'oxygène ambiant. La diminution de pression barométrique n'est qu'un des moyens d'obtenir cette tension insuffisante. Mais il en est un second qui consiste à abaisser la proportion centésimale; c'est ce qui résulte évidemment de la simple considération de l'égalité tant de fois citée déjà $\frac{O \times P}{76} = 3{,}6$.

La conséquence générale de tout ceci, c'est que tous les troubles, les accidents, la mort, qui surviennent par l'effet de la diminution de pression, sont dus tout simplement à l'asphyxie; c'est qu'un animal soumis à une diminution croissante de pression est semblable à un animal qui s'asphyxie en vases clos, dans l'air ordinaire, sous la réserve peu importante, comme nous le verrons plus tard, de l'action de l'acide carbonique produit. Lorsqu'on a amené rapidement un animal en vases clos, à une certaine dépression, et qu'on le laisse mourir, comme nous l'avons fait dans les expériences précédentes, l'épuisement graduel de l'air où il est confiné agit absolument comme si l'on continuait, dans un air pur, à diminuer autour de lui la pression barométrique.

La tension d'oxygène est tout; la pression barométrique en elle-même ne fait rien ou presque rien.

J'insisterai sur ces faits et sur les conclusions à en tirer dans un autre chapitre, et j'indiquerai également ailleurs les conséquences pratiques qui peuvent s'en déduire.

Je ne veux pas m'appesantir maintenant sur les phénomènes extérieurs que présentent les moineaux soumis à la diminution de pression. Cette étude, généralisée et appuyée d'observations précises faites sur des animaux de diverses espèces, nous occupera dans un chapitre spécial. Je me contente d'indiquer aujourd'hui trois faits principaux : 1° l'augmentation du nombre des respirations; 2° l'abaissement de la température; 3° les convulsions qui précèdent la mort, et qui nous fourniront une occasion de juger la théorie qui at-

tribue les convulsions à l'action de l'acide carbonique en excès dans le sang.

Je vais maintenant indiquer les résultats d'expériences faites sur des oiseaux autres que les moineaux.

EXPÉRIENCES LII-LV, SIMULTANÉES. — 2 juillet. Tempér. 20° ; press. 76c. Chouettes chevêches (*Strix psilodactyla*, Lin.).

LII. — Jeune, pesant 125 gr. Cloche de $2^l,25$.

Mise à $3^h\,7^m$; laissée à la pression normale.

Paraît gênée vers $3^h\,50^m$, meurt à 5^h, avec $3^c,8$ de diminution par absorption. Mort après $1^h\,20^m$ de gêne. Après 15^m, la température rectale est 31°,3; pas de rigidité.

Air mortel : O 3,3 ; CO^2 13,4.

$$CO^2+O=16{,}7;\ \frac{CO^2}{O}=0{,}76.$$

LIII. — Semblable à la précédente. Cloche de 7^l.

Commencé à $3^h\,15^m$. A $3^h\,20^m$, 22^c de diminution de pression ; s'agite un peu. A $3^h\,22$, 41^c de diminution, s'est calmée ; à $3^h\,25^m$, tibube ; on ferme les robinets. Pression réelle $27^c,7$.

Ferme bientôt les yeux et semble dormir. Meurt à $4^h\,30$, après 1^h de gêne. Dix minutes après la mort, la température rectale est 35°,0 ; après 25^m, elle est de 33°,8 : pas de rigidité.

Air mortel : O 13,4 ; CO^2 6,4.

$$CO^2+O=19{,}8;\ \frac{CO^2}{O}=0{,}87.\ \text{Tension d'O}=4{,}8.$$

LIV. — Semblable. Cloche de $7^l,5$.

Commencé à $3^h\,18^m$; à $3^h\,20^m$, dépression de 33^c, pas d'agitation ; à $3^h\,27^m$, 51^c de dépression, vomit ; à $3^h\,28^m$, pression réelle 22^c. Fermé les robinets.

A $3^h\,32^m$, tombe et menace de mourir ; je laisse rentrer un peu d'air et la pression remonte à 32^c ; l'oiseau se relève. On recommence deux fois la même manœuvre. A $3^h\,58^m$, on est à $23^c,5$ de pression, l'animal est à demi relevé : fermé les robinets.

A $4^h\,10^m$, je descends à $22^c,5$. Mort à $4^h\,35^m$, sans convulsions, après $1^h\,10^m$ environ de gêne respiratoire. Après 20^m, la température rectale est 30°,2 ; après 30^m, 29°,7 : pas de rigidité.

Air mortel : O 17,1 ; CO^2 3,3.

$$CO^2+O=20{,}4;\ \frac{CO^2}{O}=0{,}87.\ \text{Tension d'O}=5{,}0.$$

LV. — Chouette vieille de 5 ans, pesant 170 gr. Cloche de $11^l,5$.

Commencé à $3^h\,8^m$; agitation considérable, qui dure jusqu'à $3^h\,13^m$, où la dépression est de 36^c ; l'oiseau se calme alors. A $3^h\,16^m$, dépression de

44^c ; vomit deux fois. A 3^h 21^m, 48^c; à 3^{h}26^m, 57^c, soient 19^c de pression réelle. Tombe et va périr ; on remonte à 28^c ; l'oiseau se relève après quelques minutes. Deux fois se répète la même manœuvre, mais à chaque fois l'oiseau est évidemment moins abattu. A 4^h 3^m, on est à 20^c,2 : l'oiseau retombe, on ferme les robinets.

A 4^h 10, on descend à 19^c ; l'oiseau est toujours tombé, le bec en avant. Mort à 4^{h}45^m, sans convulsions, après 1^h 20^m environ de gêne respiratoire. 22^m après la mort, la température rectale est 30°,2; après 30^m, elle est de 29°,6 ; pas de rigidité.

Air mortel : O 17,6 ; CO^2 2,6.

$$CO^2 + O = 20,2 ; \frac{CO^2}{O} = 0,79. \text{ Tension d'O} = 4,4.$$

On voit que notre règle se vérifie, nonobstant une irrégularité plus forte qu'à l'ordinaire, présentée par l'expérience faite à la pression normale. La valeur de la tension de l'oxygène dans l'air mortel a été, en effet : à 76^c, de 3,3; à 27^c,7, de 4,8 ; à 22^c,5, de 5; à 19^c, de 4,4. Ces dernières pressions barométriques sont très-basses, et bien évidemment les transitions n'avaient pas été suffiamment ménagées.

Expérience LVI. — 3 août, Cresselle (*Falco tinnunculus*, Lin.). Pression 75^c,5. Cloche de 13^l,5.

Commencé à 3^h 25^m ; courant d'air. La dépression est, à 3^h 30^m de 8^c ; à 3^h 35^m, de 16^c ; à 3^{h}45^m de 30^c, à 3^h 50^m de 40^c ; à 3^h 53^m de 50^c ; soient 25^c,5 de pression réelle. L'oiseau vomit et tombe ; on remonte à 31^c,5 pour redescendre lentement à 25^c,5 ; l'oiseau, qui s'était un peu remis, retombe, menace de mourir, et l'on doit revenir à 27^c, 5.

A 4^h 5^m, on est à 25^c; à 4^h 10^m, à 24^c,5 ; à 4^h 15^m, à 21^c,5 ; l'oiseau vomit, titube et chancelle, mais paraît se remettre un peu, tout en restant affaissé. A 4^h 17^m, la pression n'est plus que de 20^c ; à 4^h 20^m, de 19^c,5. On ferme les robinets, et l'oiseau meurt à 4^h 32^m. A ainsi vécu environ 40^m avec gêne respiratoire. 8^m après la mort, la température était de 37°,4 dans le rectum.

L'air, comme on pouvait s'y attendre, est à peine altéré : O 20,0 ; CO^2 0,8 Tension d'O = 5,1.

Le point intéressant de cette dernière l'expérience est qu'un oiseau de proie, voisin zoologique de ces vautours, de ces condors qui s'élèvent dans les airs à de prodigieuses hauteurs, a été au moins aussi sensible à la diminution de pression qu'un simple moineau.

B. *Expériences faites sur des Mammifères.*

Elles ont été en assez petit nombre, le principal intérêt de la question ayant été résolu par les expériences faites sur les moineaux. Elles m'ont montré, comme fait général, que les mammifères peuvent être amenés à des pressions notablement plus basses que les oiseaux. On pouvait s'en douter, du reste, puisque les mammifères épuisent davantage l'air confiné que le font les oiseaux. (Voy. mes *Leçons sur la physiologie de la respiration*, page 510.)

Ils sont, en outre, plus malléables, pour ainsi dire, c'est-à-dire plus faciles à amener à l'état d'animaux à sang froid, supportant alors, comme ces derniers (voy. plus bas), des pressions extrêmement faibles; cela est surtout vrai pour les rongeurs. Un exemple remarquable de ce fait (exp. LVII) m'a été présenté par un cochon d'Inde, qui, placé pendant quatre heures dans un courant d'air (température 15°), y a vécu sous une pression constamment inférieure à 20c, et qui s'est, à plusieurs reprises, abaissée jusqu'à 11c pendant quatre ou cinq minutes. Il est vrai qu'après ce temps le malheureux animal est resté immobile, presque insensible, avec une température rectale de 20°, et qu'il est mort quelques heures après l'expérience.

Dans un autre cas (exp. LVIII), un cochon d'Inde put être, par une diminution graduelle de pression qui dura une heure et demie, amené et maintenu à une pression de 12 cent. pendant environ un quart d'heure. L'animal était alors très-faible, et sa température rectale n'était que de 25°; mais trois minutes après elle remontait à 31°, et déjà l'animal pouvait se relever sur ses pattes. Ce cochon d'Inde a survécu.

CHATS. — EXPÉRIENCES LIX-LXIII, SIMULTANÉES. — 11 juillet; pression 75c. Chats âgés d'un mois à un mois et demi.

LIX. — Chat pesant 280gr. Cloche de 3l,2.

Mis à 3h 15m; pression normale; mort à 4h 35m, sans convulsions.

280gr ont vécu 1h 20m dans 2l,920 d'air, ce qui donne par litre et par kilogramme, $\frac{80^m}{2,92} \times \frac{280}{1000} = 7^m,7$.

Air mortel : O 4,4 ; CO^2 13,4.

$$CO^2+O=17,8 ; \frac{CO^2}{O}=0,81. \text{ Tension d'O}=4,4.$$

LX. — Pesant 380gr. Cloche de 7l.

Commencé à 3h 20m ; à 3h 25m, la pression est de 51c,2 ; fermé robinets, mort à 4h 45m.

380gr ont ainsi vécu 1h 20m dans 6l,620 d'air à 51c,2 de pression, ce qui donne, en rapportant à 76c de pression et à 1000gr, la valeur

$$\frac{80^m}{\frac{6,62\times51,2}{76}}\times\frac{380}{1000}=\frac{80^m\times380\times76}{6,62\times51,2\times1000}=7^m,1.$$

Air mortel : O 7,2 ; CO^2 11,4.

$$CO^2+O=18,6 ; \frac{CO^2}{O}=0,81. \text{ Tension d'O}=4,9.$$

LXI. — Pesant 460gr. Cloche de 13l,5.

Commencé à 3h 25m ; à 3h 44m, la pression est de 21c,8. L'animal est très-malade, a 250 respirations à la minute. A 4h, grands mouvements convulsifs, retombe, et meurt à 4h 13m.

460gr ont ainsi vécu 29m dans 13l,04 d'air à 21c,8, ce qui donne 3m par litre à 76c et pour 1000gr.

Air mortel : O 15,5 ; CO^2 5,1.

$$CO^2+O=20,6 ; \frac{CO^2}{O}=0,94. \text{ Tension d'O}=4,4.$$

LXII. — Pesant 665gr. Cloche de 15l,5.

Commencé à 3h 22m ; à 3h 40m la pression est de 27c : vomit, défèque.

A 3h 48m, elle n'est que de 16c : très-mal à l'aise. Fermé les robinets. Meurt à 3h 53m, sans convulsions.

Durée de la vie, par kilogramme et par litre, 1 minute.

Air mortel O 19,0 ; CO^2 1,0. $O\times P=4$.

LXIII. — Pesant 485gr. Cloche de 15l,5.

Amené en 15m à 16c de pression. Couché, haletant ; meurt en 20 minutes.

Durée de la vie, par kilogramme et par litre, 3 minutes.

Expérience LXIV. 4 août. Chat pesant 2k 570 ; cloche de 21l,5.

Commencé à 4h 10m. A 4h 22m, la pression réelle est 29c,5. On ferme les robinets ; l'animal ne paraît pas beaucoup souffrir.

A 4h 37m, agitation violente avec cris. A 4h 45m, convulsions avec frémissements des peaussiers. Mort à 4h 47m.

Durée de la vie, par kilogramme et par litre, 8m,7.

Air mortel : O 10,3 ; CO^2 9,6.

$$CO^2+O=19,9 ; \frac{Co^2}{O}=0,90. \text{ Tension d'O}=4.$$

La valeur de la tension de l'oxygène a été dans ces expériences :

A 76^c, de 4,4 ; à 51^c,2, de 4,9 ; à 29^c,5, de 4 ; à 21^c,8, de 4,4 ; à 16^c, de 4.

Si maintenant nous cherchons la durée de la vie en prenant comme base un litre d'air et en rapportant le calcul à 1 kilogramme d'animal, nous trouvons que : à 76^c, la durée de la vie a été de 7^m,7 ; à 51^c,2, de 7^m,1 ; à 29^c,5, de 8^m,7 ; à 27^c, de 3 minutes ; à 16^c, de 3 minutes. Il ne faut pas oublier que le chat de 29^c,5 était fort différent des autres et, devait, étant beaucoup plus gros, consommer moins d'oxygène dans un temps donné, par suite vivre plus longtemps dans un espace donné.

J'ai pensé qu'il serait intéressant de mettre en expérience des animaux nouveau-nés, qui résistent, comme on le sait, beaucoup plus longtemps à l'asphyxie que ne font les adultes. Cependant je n'ai pas pu aller avec eux notablement plus loin dans la dépression qu'avec les adultes. Ainsi, des chats nés de l'avant-veille, portés rapidement à 8 et à 12 centimètres de pression, sont morts en sept ou huit minutes.

Voici, du reste, les résultats d'expériences dans lesquelles on a analysé l'air :

Expériences LXV-LXVIII, simultanées. — 4 juillet ; pression 76^c.

Chats nés le 1er juillet, pesant en moyenne 125^{gr}.

LXV. — Cloche de 675^{cc}, avec défalcation de l'animal, 550^{cc}.

Mis à 2^h 42^m ; amené rapidement à 58^c de pression. A 3^h 40^m parait mort, mais ne l'est réellement qu'à 4^h 35^m.

Air mortel : O 3,0 ; CO^2 17,1.

$$CO^2 + O = 20,1 ; \frac{CO^2}{O} = 0,95. \text{ Tension d'O} = 2,2.$$

LXVI. — Cloche de 2^l,5.

Mis à 3^h ; à 3^h 6^m, la pression est 25^c,5 ; fermé robinets ; meurt à 5^h 40^m.

Air mortel : O 7,1 ; CO^2 13,5.

$$CO^2 + O = 20,6 ; \frac{CO^2}{O} = 0,98. \text{ Tension d'O} = 2,4.$$

LXVII. — Cloche de 3^l,2.

Mis à 2^h 54^m. A 3^h, pression 20^c,5 ; miaule. Fermé les robinets. Meurt à 7^h 15^m.

Air mortel : O 8,5 ; CO^2 12,0.

$$CO^2+O=20,5;\ \frac{CO^2}{O}=0,97.\ \text{Tension d'O}=2,2.$$

LXVIII. — Cloche de 5^l.

Mis à $2^h\ 38^m$; à $2^h\ 48^m$, la pression est de 22^c ; marche encore et miaule ; à $2^h\ 53^m$, la pression est de $16^c,2$; l'animal est couché à plat. Fermé les robinets. A $3^h\ 8^m$, je descends à $13^c,4$.

Mort à $7^h\ 35^m$.

Air mortel : O 13 ; CO^2 7.

$$CO^2+O=20,0;\ \frac{CO^2}{O}=0,98.\ \text{Tension d'O}=2,2.$$

Le rapport $\frac{O\times P}{76}$ s'est ici maintenu avec une remarquable régularité à 2,2, chiffre environ moitié moindre de celui qu'ont donné les chats adultes.

Déjà, dans mes *Leçons* (p. 510), j'avais trouvé que, tandis que les chats adultes laissent en moyenne dans l'air confiné, où ils meurent à la pression normale, 5,3 d'oxygène, les nouveau-nés ne laissaient que 3,0. Pour les rats adultes, la moyenne avait été de 2,0 et un nouveau-né avait été jusqu'à 0,75.

Si maintenant nous faisons les calculs nécessaires pour trouver la durée de la vie de ces chats nouveau-nés, rapportée comme, nous l'avons fait pour les adultes, à un litre d'air à 76^c et à un kilogramme d'animal, nous trouvons que cette durée est : à 58^c, de 33 minutes ; à $25^c,5$, de 24 minutes ; à $20^c,5$, de 37 minutes ; à $13^c,4$, de 32 minutes.

On voit que la durée de la vie a été sensiblement la même aux très-fortes dépressions comme aux pressions moyennes. De plus, en comparant ces chiffres avec ceux qu'on tire de l'étude des chats adultes, on voit que la durée de la vie des nouveau-nés a été d'environ quatre fois plus considérable. Ce sont là deux faits qui concordent avec ce qu'on sait de la résistance vitale des animaux nouveau-nés.

Enfin, il est intéressant de constater que le rapport entre l'oxygène consacré, et l'acide carbonique produit, a été chez les nouveau-nés, notablement plus élevé que chez les adultes :

sa moyenne est en effet de 0,97, tandis que pour les adultes elle est seulement de 0,86.

CHIENS. — EXPÉRIENCE LXIX. — 11 mars. — Chien pesant $4^k,3$. Cloche de 31^l.

Mis à $1^h 40^m$ à 43^c de pression. Anxieux; se couche à 2^h; est trouvé mort à $2^h 20^m$.

Air à 2^h : O 5,5; CO^2 16,1.

Air après la mort, O 5,4; CO^2 16,7. Tension d'O = 3,0.

LAPINS. — EXPÉRIENCE LXX. — 15 mars. — Lapin, Cloche de $11^l,5$.

Mis à $2^h 28^m$. Laissé à la pression normale.

A $3^h 50^m$, debout, anhélant; à $3^h 55^m$, s'agite; à 4^h, tombe; à $4^h 30^m$, dernière respiration, sans convulsions. 15^m après, sa température rectale est de 34°.

Air mortel : O 3,7; CO^2 15,2.

$$CO^2 + O = 18,9\,;\ \frac{CO^2}{O} = 0,96.\ \text{Tension d'O} = 3,7.$$

EXPÉRIENCE LXXI. — 16 mars. — Lapin pesant $1^k,900$. Cloche de $20^l,75$.

Commencé à $2^h 5^m$; à $2^h 25^m$, la pression n'est plus que de 41^c. Fermé les robinets. A $2^h 55^m$, gêné; à $3^h 20^m$ très-gêné; à $3^h 35^m$, tombé; à $3^h 50^m$ mort sans convulsions; 5^m après, la température rectale est 35°,3.

A vécu $1^h 25^m$ dans $18^l,85$ d'air à 41^c, ce qui donne, par litre et par kilogramme une durée de 16^m.

Air mortel : O 5,9; CO^2 13,3.

$$CO^2 + O = 19,2\,;\ \frac{CO^2}{O} = 0,81.\ \text{Tension d'O} = 3,2.$$

EXPÉRIENCE LXXII. — 14 mars. — Pression $76^c,6$; température 13° — Lapin pesant $1^k,340$. Cloche de 31^l.

A $2^h 27^m$, commencé le courant d'air; le manomètre monte lentement; à $2^h 58^m$ la dépression, est de 41^c; l'animal est resté jusque-là parfaitement tranquille. A $3^h 2^m$, 50^c de diminution, le lapin devient inquiet : on ferme le robinet d'appel, et on continue à pomper. A $3^h 7^m$, la pression n'est que de $15^c,6$; l'animal se couche. A $3^h 12^m$, elle est de 16^c. Mort à $3^h 20^m$.

Air mortel : O 19; CO^2 1,6.

$$CO^2 + O = 20,6\,;\ \frac{CO^2}{O} = 0,84.\ \text{Tension d'O} = 4,0.$$

EXPÉRIENCE LXXIII. — 15 mars. — Lapin pesant $1^k,650$. Cloche de 20^l75.

Commencé à $3^h 48^m$. A $4^h 5^m$, la pression est de 29^c. On ferme les robinets. L'animal meurt à $6^h 42^m$; 10^m après, sa température est de 32°. On ne peut rien dire sur la durée de la vie, parce qu'il est rentré un peu d'air pendant l'expérience.

Air mortel ; O 11,0 ; CO^2 9,0.

$$CO^2 + O = 20 ; \frac{CO^2}{O} = 0,90. \text{ Tension d'O} = 4,2.$$

La valeur du rapport $\frac{O \times P}{76}$ est dans ces quatre expériences : à la pression normale, 3,7; à 41^c, 3,2; à 29^c 4,2; à 16^c, 4,0.

COCHONS D'INDE. — EXPÉRIENCES LXXIV-LXXV, SIMULTANÉES. — 5 août.

LXXIV. — Pesant 420^{gr}. Cloche de 3^l,2.

Mis à 3^h 45, à la pression normale. Mort à 5^h 5^m, après agitation, soubresauts, etc.... N'est jamais resté tranquille. Un quart d'heure après, sa température rectale est 37°.

420^{gr} ont vécu 1^h 20^m dans 2^l,78 d'air; soient 12^m par litre et pour 1000^{gr}.

Air mortel : O 2,3 ; CO^2 16,4.

$$CO^2 + O = 18,7 ; \frac{CO^2}{O} = 0,88. \text{ Tension d'O} = 2,3.$$

LXXV. — Pesant 470^{gr}. Cloche de 5^l.

Commencé à 3^h 55^m, et amené en 2 minutes à 46^c,5 de pression réelle.

Reste parfaitement tranquille. A 5^h 17^m, tressautements convulsifs. Meurt à 5^h 20^m ; 17^m après, la température rectale est 34°.

470^{gr} ont vécu pendant 1^h 24^m dans 4^l,53 à 46^c,5 représentant à 76^c 2^l,10. Donc 1000^{gr} auront vécu par litre 14 minutes.

Air mortel : O 3,5; CO^2 16,0.

$$CO^2 + O = 19,5 ; \frac{CO^2}{O} = 0,92. \text{ Tension d'O} = 2,1.$$

EXPÉRIENCES LXXVI-LXXVII, SIMULTANÉES. — 23 juin.

LXXVI. — Pesant 580^{gr}. — Cloche de 13^l.

Commencé à 1^h 45^m. Amené à 16^c de pression avec courant d'air à 2^h 45^m. Mort à 3^h 10^m ; 27^m après, sa température rectale est de 31°,5.

A vécu 1^h 12^m dans un volume d'air correspondant à 2^l,6 à 76^c; soient 16^m pour 1000^{gr} par litre.

Air mortel : O 14,5; CO^2 9,8.

$$CO^2 + O = 24,3 ; \frac{CO^2}{O} = 1,51. \text{ Tension d'O} = 3,0.$$

LXXVII. — Pesant 490^{gr}. Cloche de 10^l.

Commencé à 1^h 45^m. Amené à 2^h 45^m, à 12^c de pression.

Meurt à 3^h ; 17^m après, la température est de 33°, 3. A vécu 15^m dans 1^l,5 d'air à 76^c; soient 4^m,9 pour 1 litre et 1000^{gr}.

Air mortel : O 19 ; CO^2 3,1.

$$CO^2 + O = 22,1 ; \frac{CO^2}{O} = 1,63. \text{ Tension d'O} = 3,0.$$

Expérience LXXVIII. — Pesant 485gr. Cloche de 13l5, pression 76c.

Commencé à 3h 24m ; ne s'agite pas. A 3h 30m, 50c de diminution : titube, puis se remet; 100 respirations, marche un peu. A 3h 34m, 56c de diminution; 135 respirations ; à 3h 35m, diminution de 58c,5, se couche sur le ventre. A 3h 40m, pression réelle 13c,6 : 80 respirations fortes, anxieuses. Fermé les robinets.

3h 45m : toujours couché, pupilles dilatées ; 3h 46m, petites secousses convulsives ; 3h 47m tombe sur le flanc ; mouvements convulsifs ; raideurs ; ventre énormément ballonné. 3h 49m, meurt ayant vécu 9m.

Après 13m, sa température rectale est de 34°,6 ; après 36m de 31°,8 ; après 1h 16m, de 28°,4, et la rigidité commence ; après 2h 11m, de 25°,4 ; faible rigidité.

Air mortel : O 19,1 ; CO^2 2,3.

$$CO^2 + O = 21,4 ; \frac{CO^2}{O} = 1,27. \text{ Tension d'O} = 3,4.$$

Expériences LXXIX-LXXXI, simultanées. — 28 mai. Pression 76c,3.

LXXIX. — Pèse 620gr. Cloche de 16l.

Commencé à 2h 32m ; amené à 2h 55m, à 41c,3 de diminution, soit 35c de pression réelle ; fermé les robinets.

A 4h 50m, tombe sur le flanc ; à 5h 30m, meurt ; 30m après, sa température rectale est 28°.

620gr ont vécu pendant 2h 55m dans 4l,44 d'air à 76c. Ce qui donne, par 1000gr et par litre d'air à 76c, 24m.

Air mortel : O 4,9 ; CO^2 17,2.

$$CO^2 + O = 22,1 ; \frac{CO^2}{O} = 1,07. \text{ Tension d'O} = 2,2.$$

LXXX. — Pèse 520gr. Cloche de 13l,5.

Commencé à 2h 37m. A 2h 44m, pression 27c,8 ; fermé les robinets.

A 4h 10m, tombé sur le ventre ; à 4h 55m, sur le flanc ; mort à 5h 5m ; 15m après, sa température rectale est 28°.

520gr ont vécu pendant 2h 20m dans 4l,76 d'air à 76c ; ce qui fait, par 1000gr et par litre d'air à 76c, 17m.

Air mortel : O 5,4 ; CO^2 15,7.

$$CO^2 + O = 21,1 ; \frac{CO^2}{O} = 1,01. \text{ Tension d'O} = 2,2.$$

LXXXI. — Pesant 620gr. Cloche de 19l.

Commencé à 2h 40 ; à 2h 49m la pression est de 19c,5 ; l'animal titube. Fermé les robinets.

A 2h 55m, tombe : à 3h 20m va un peu mieux ; à 4h 15m fait encore de

efforts pour se relever; à 5^h 10^m, soubresauts convulsifs; meurt à 5^h 30^m; 20^m après, la température rectale est 23°.

A ainsi vécu 2^h 40^m dans 4^l,71 d'air; ce qui donne, par 1000^{gr} et par litre à la pression normale, 21^m.

Air mortel : O 8,1 ; CO^2 15,6.

$$CO^2 + O = 23,7; \ \frac{CO^2}{O} = 1,21. \text{ Tension d'O} = 2,0.$$

La valeur de la tension de l'oxygène a été, dans ces diverses expériences :

A la pression normale, de 2,3; à 46^c,5, de 2,1; à 41^c,3, de 2,2; à 27^c,8, de 2,0; à 19^c,5, de 2,0; à 16^c, de 3,0; à 13^c,6, de 3,4; à 12^c, de 3,0.

On remarquera que, aux très-fortes dépressions, la somme $CO^2 + O$ a été 21,1; 21,4; 22,1; 22,1; 23,7 et 24,3, c'est-à-dire supérieure à la proportion primitive de l'oxygène. L'excès est dû, sans aucun doute, à l'acide carbonique contenu dans les intestins de ces rongeurs, dont on voyait le ventre se ballonner au début des pressions très-basses, et qui vraisemblablement laissaient échapper alors une partie de leurs gaz dilatés.

Quant à la durée de la vie, en la rapportant à 1000 grammes d'animal, elle a été, par litre : à la pression normale, de 12 minutes; à 46^c,5, de 14 minutes; à 41^c,3, de 24 minutes; à 27^c,8, de 17 minutes; à 19^c,5, de 21 minutes; à 16^c, de 16 minutes; à 13^c,6 et à 12^c, la mort est survenue beaucoup plus rapidement. Nous rencontrons ici une régularité que ne nous avaient pas fournie les oiseaux, extrêmement variables dans leur manière de se comporter sous les cloches. Les deux nombres extrêmes 12 et 24 s'expliquent par l'incessante agitation ou la tranquillité parfaite des animaux en expérience.

Si l'on rapproche ces chiffres de ceux qui nous ont été fournis par les autres mammifères, on voit qu'ils sont environ le double de ceux donnés par les chats adultes, à peu près égaux à ceux des lapins, et encore notablement inférieurs à ceux des chats nouveau-nés. Disons en terminant que, pour les moineaux, dont le poids ordinaire est de

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	ESPÈCE D'ANIMAL	POIDS	PRESSION BAROMÉTRIQUE	CAPACITÉ DE LA CLOCHE	DURÉE DE LA VIE	DURÉE PAR LITRE D'AIR RAPPORTÉ À 76 C. DE PRESSION ET PAR KILOGR. D'ANIMAL	COMPOSITION DE L'AIR MORTEL O	CO²	TENSION DE L'OXYGÈNE $\frac{O \times P}{76}$
	OISEAUX.								
		gr.	c.	lit.	h. m.	m.			
LII	*Strix psilodactyla.*	125	76	2,25	1.53	6,2	3,3	13,4	3,3
LIII	Id.	125	27,5	7	1.10	3,4	13,4	6,4	4,8
LIV	Id.	125	22,5	7,5	37	2,1	17,1	3,3	5,0
LV	Id.	170	19	11,5	35	2,1	17,6	2,6	4,4
LVI	*Falco tinnunculus.*	»	19,5	13,5	12	»	20	0,8	5,1
					Moy.	3,4		Moy.	4,5
	MAMMIFÈRES.								
LIX	Chat d'un mois. .	280	76	3,2	1.20	7,7	4,4	13,4	4,4
LX	Id.	380	51	7	1.20	7,1	7,2	11,4	4,9
LXIV	Chat adulte. . . .	2570	29,5	21,5	25	8,7	10,3	9,6	4
LXII	Chat d'un mois . .	460	21,8	13,5	29	3	13,5	5,1	4,4
LXI	Id.	665	16	15,5	05	»	19	1	4
LXIII	Id.	485	16	15,5	20	3	»	»	»
					Moy.	5,9		Moy.	4,4
LXV	Chats de 3 jours. .	125	58	10,5	1.55	33	0,3	17,1	2,2
LXVI	Id.	125	25,5	2,5	2.35	24	7,1	13,5	2,4
LXVII	Id.	125	20,5	3,2	4.15	37	8,5	12	2,2
LXVIII	Id.	125	13,5	5	4.30	32	13	7	2,2
					Moy.	31		Moy.	2,2
LXIX	Chien.	4k,3	43	31	»	»	5,4	»	3,0
LXX	Lapin.	»	76	11,5	2	»	3,7	15,2	3,7
LXXI	Id.	1k,9	41	20,7	1.25	16	5,9	13,3	3,2
LXXIII	Id.	1, 6	29	20,7	»	»	11	9	4,2
LXXII	Id.	1 ,3	16	31	13	»	19	1,6	4,0
								Moy.	3,8
LXXIV	Cochon d'Inde. . .	420	76	3,2	1.20	12	2,3	16,4	2,3
LXXX	Id.	470	46,5	5	1.20	14	3,5	16	2,1
LXXIX	Id.	620	35	16	2.55	24	4,9	17,2	2,2
LXXX	Id.	520	28	13,5	2.20	17	5,4	15,7	2,0
LXXXI	Id	620	19,5	19	2.40	21	8,1	15,6	2,0
LXXVI	Id.	580	16	13	1.12	16	14,5	9,8	3,0
LXXVIII	Id.	485	13,5	13,5	9	»	19,1	2,3	3,4
LXXVII	Id.	490	12	10	15	»	19	3,1	3,0
					Moy.	17,3		Moy.	2,5

30 grammes environ, on trouverait, en envisageant ainsi la question, une moyenne d'environ 2 minutes par kilogramme et par heure. Or, si l'on se reporte au célèbre et classique travail de Regnault et Reiset sur la respiration, on y trouvera des résultats analogues, c'est-à-dire la consommation plus considérable d'oxygène faite dans un temps donné par les carnivores que par les herbivores, par les oiseaux que par les mammifères, par les petits animaux que par les gros, etc.

Tous les faits qui viennent d'être énumérés se trouvent résumés dans le tableau IV, ci-contre.

J'ajoute, en terminant, le récit d'une expérience (Exper. LXXXII) faite sur un hérisson le 6 juillet, dans le but de chercher à mettre l'animal dans l'état d'hibernation en le maintenant un certain temps à très-basse pression. Mais on ne put, sans un danger imminent, dépasser la pression de 18c; à 26c l'animal se déroula et vomit. Après 2 heures pendant lesquelles on a oscillé entre 28 et 18c de pression, on retire l'animal, qui se remet rapidement et survit. Ce hérisson s'est donc comporté comme l'eût fait un chat ou tout autre animal non doué de la remarquable faculté d'hiberner.

C. — *Expériences faites sur des animaux à sang froid.*

Je n'ai fait que peu d'expériences sur les animaux à sang froid. Les grenouilles, si utiles pour d'autres ordres de recherches, présentent souvent, quand on les laisse périr en vases clos, même à la pression normale, des inégalités singulières au point de vue de la durée de la vie, de la composition de l'air mortel, etc. Voici cependant une série d'expériences simultanées dans lesquelles, en prenant de minutieuses précautions et en choisissant soigneusement mes sujets, j'ai pu obtenir un résultat intéressant :

Expériences LXXXIII-LXXXVII, simultanées. — 15 juin, à 5^h ; $\theta = 22°$.

LXXXIII. — Pression normale, vase de 275^{cc}; meurt le 17 juin à 5^h du soir.

Air mortel : O 2,7.

LXXXIV. — Pression de 20^c; vase de $1^l,350$, représentant 355^{cc} à la pression normale ; meurt le 16 à 2^h.

Air mortel : O 8,4. Tension d'O = 2,2.

LXXXV. — Pression de 14^c ; vase de $1^l,9$, représentant 350^{cc} à la pression normale, meurt le 16 à $2^h 50^m$.

Air mortel : O 15,3. Tension d'O = 2,8.

LXXXVI. — Pression de 10^c ; vase de $2^l,2$, représentant à la pression normale 290^{cc} ; a vécu 4^h.

Air mortel : O 18,5. Tension d'O = 2,4.

LXXXVII. — Pression de $5^c,5$; vase de $2^l,8$, représentant 200^{cc} ; a vécu, 2 heures.

Air mortel : O 18,6. Tension d'O = 1,3.

Je rapporte enfin les résultats d'une expérience faite sur un insecte, la chrysomèle du peuplier :

Expérience LXXXVIII. — 3 août, 4^h du soir ; $\theta = 24°$. Je mets 10 grammes de chrysomèles :

A. Dans une cloche de 60^{cc} à la pression normale.

B. Dans une cloche de 800^{cc} à 9^c de pression.

C. Dans une cloche de $1^l,5$, à 4^c de pression.

Le 4, à midi, les insectes sont immobiles et semblent morts ; l'air des cloches ne contient plus trace d'oxygène ; il y a de 18 à 20 pour 100 de CO^2.

Les animaux reviennent à la vie après une heure environ.

§ 3. — **Conclusions.**

Les résultats auxquels nous ont conduit les faits énumérés dans le présent sous-chapitre peuvent être résumés dans la conclusion suivante :

En vase clos, aux pressions inférieures à une atmosphère, la mort survient lorsque la tension $O \times P$ de l'oxygène de l'air est réduite à une certaine valeur qui est constante pour chaque espèce, ou qui du moins oscille dans de faibles limites autour d'une moyenne (4,4 pour les chats adultes ; 3,6 pour les moineaux ; 2,5 pour les cochons d'Inde ; 2,2 pour les chats nouveau-nés).

Cette moyenne reste la même, quelle que soit la composition initiale de l'air employé ; mais, pour l'air suroxygéné, il faut absorber l'acide carbonique au fur et à mesure de sa production.

SOUS-CHAPITRE II

PRESSIONS SUPÉRIEURES A CELLE D'UNE ATMOSPHÈRE.

§ 1er. — **Dispositif expérimental.**

Après avoir étudié la composition de l'air confiné devenu irrespirable sous des pressions inférieures à une atmosphère, il était tout naturel de chercher ce qu'il adviendrait en employant des pressions supérieures. Nous avons vu que, plus la pression est faible, plus grande est la proportion d'oxygène qui reste dans l'air mortel, ou, en d'autres termes, moins celui-ci est épuisé. Cette loi se confirmerait-elle aux pressions supérieures? Arriverait-il un moment où un moineau épuiserait, sous pression, l'oxygène de l'air, comme l'ont fait aux plus faibles pressions les chrysomèles dont j'ai plus haut raconté l'histoire? En poursuivant la loi et en prenant comme moyenne de l'épuisement en oxygène à la pression normale le chiffre 3,6, on ne devrait, à $3^{atm},6$, trouver que 1 pour 100 d'oxygène dans l'air devenu mortel par le confinement, que 0,5 à $7^{atm},2$, et ainsi de suite. Nous allons voir combien cette hypothèse s'est trouvée être éloignée de la vérité.

Dans les expériences dont je vais donner le récit, j'ai employé à peu près exclusivement les moineaux. Leur petite taille m'a permis de me servir d'appareils en verre dont les avantages sont évidents, mais dont les dangers, lorsqu'il s'agit d'air fortement comprimé, ne sont pas moins évidents non plus. Le verre présente, en effet, ce grave inconvénient, qu'on n'est jamais sûr qu'un appareil qui a supporté à un certain moment une certaine pression, pourra la supporter de nouveau. De plus, sous l'influence des changements atmosphériques, les pièces métalliques dans lesquelles il faut nécessairement le fixer se dilatent ou se rétractent, dans les expériences de longue durée, suivant une loi différente de celle du verre lui-même, lequel se trouve ainsi soumis à des tiraillements en sens inverses qui compromettent sa solidité et peuvent même,

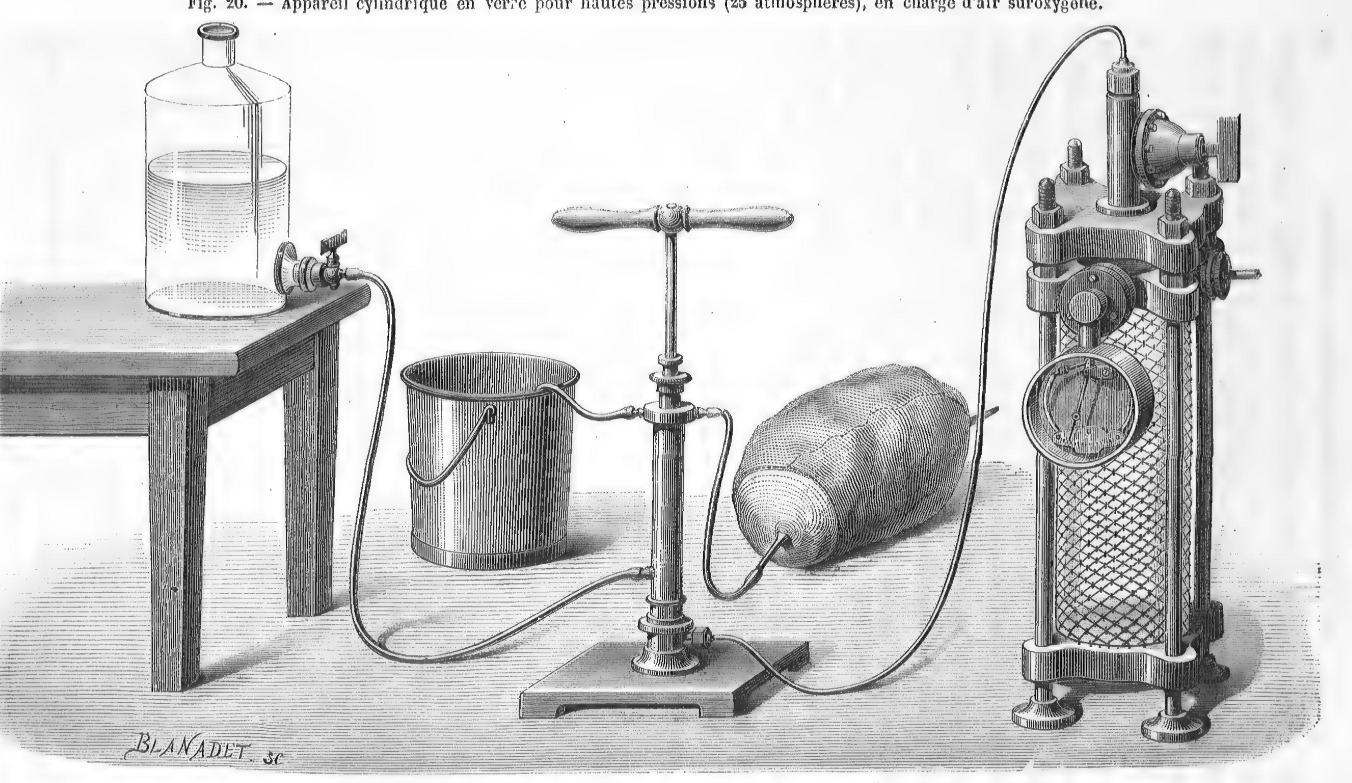
ces verres étant fort épais, le faire fendre sans l'emploi d'aucune pression. Quoi qu'il en soit, grâce aux précautions employées, les accidents qui sont arrivés n'ont jamais eu de conséquences fâcheuses.

L'un des appareils dont je me suis le plus souvent servi, et qui me permet de comprimer l'air jusqu'à 25 atmosphères, consiste en un cylindre de verre, d'une capacité de 650^{cc} et d'une épaisseur de 18 millimètres, protégé par une chemise grillée. Ce réservoir est coiffé d'une pièce mobile de bronze qui s'adapte exactement à son orifice, ou plutôt à une autre plaque de bronze fixe et reliée au socle sur lequel repose le réservoir par quatre colonnes d'acier, qui traversent à la fois la pièce fixe et la pièce mobile. Ces deux pièces sont solidement assujetties par quatre écrous mobiles qui se vissent sur les colonnes d'acier. Tout ceci se voit, du reste, très-nettement sur la figure 20.

Un manomètre Bourdon, qui indique la pression de l'air du réservoir, est fixé sur la plaque immobile. Un robinet à vis et à fente très-mince qui apparaît à droite du cylindre permet de prendre, quand on le veut, une petite quantité de cet air. A cet effet, on ajuste à ce robinet un tube de caoutchouc qu'on fait ensuite plonger dans une cuve à mercure au-dessous d'un tube gradué ; il suffit alors d'ouvrir avec prudence ledit robinet pour voir l'air comprimé s'échapper de l'appareil et entrer dans le tube gradué : j'avais toujours soin, bien entendu, d'en rejeter au dehors une certaine quantité avant de prendre celui que je destinais à l'analyse.

L'air est comprimé dans le réservoir au moyen d'une petite pompe foulante ; j'ai fait entourer cette pompe d'une enveloppe métallique que traverse un courant d'eau continu ; de cette façon, la manœuvre en est beaucoup moins pénible, et, ce qui est plus important, on n'envoie pas de l'air chaud à l'animal. Je puis ainsi arriver en 20 minutes environ, à la pression de 25 atmosphères. Enfin, un gros robinet fixé sur la pièce mobile qui coiffe le cylindre sert à ouvrir ou à fermer hermétiquement l'appareil. Il établit ou interrompt la communication avec la pompe, et, lorsque le tube qui le surmonte

Fig. 20. — Appareil cylindrique en verre pour hautes pressions (25 atmosphères), en charge d'air suroxygéné.



est enlevé, permet de décomprimer brusquement, si on en a besoin, l'air du réservoir.

Dans les expériences où je comprimais simplement de l'air, le sac représenté sur la figure n'existait pas, bien entendu, et l'appel de la pompe se faisait directement au dehors.

J'ai fait usage plus souvent encore d'un appareil construit d'une manière analogue, mais dont le réservoir était un simple récipient de générateur d'eau de Seltz. Je ne pouvais ainsi pousser que jusqu'à 10 atmosphères; mais la forme arrondie de l'appareil laissait aux animaux plus de liberté.

Enfin, je me suis servi d'une bouteille à mercure, montée comme le cylindre en verre. La solidité extrême de cet instrument m'aurait permis de pousser sans encombre jusqu'à 40 atmosphères. Sa capacité, qui est de 3 litres, présente aussi de grands avantages; le seul inconvénient est de ne pouvoir voir ce qui se passe au dedans.

§ 2. — **Expériences.**

A. — *Compression avec de l'air ordinaire.*

J'arrive maintenant aux expériences. Je les énumérerai, comme j'ai fait jusqu'ici, dans l'ordre même où elles ont été exécutées. Ce que j'ai dit au début de ce sous-chapitre indique suffisamment pourquoi j'ai commencé par la pression de $3^{atm},75$. L'appareil qui m'a servi dans cette première série est un récipient à eau de Seltz, d'une capacité totale de 1060^{cc}.

Expérience LXXXIX. — 18 juillet; tempér. 26°. Moineau franc, jeune. En 10 minutes, on amène le moineau à 3,75 atmosphères; il ne paraît nullement gêné; mais un accident faisant tomber subitement la pression, il se hérisse et se cache la tête sous l'aile. L'augmentation de la pression au niveau primitif lui redonne les apparences de la santé.

Robinets fermés à 2^h. A $2^h 20^m$, malade; à $5^h 10^m$, très-malade; à $5^h 20^m$, paraît mourant; à $6^h 30^m$, de même. A 10^h du soir, le croyant mort, je retire de l'air en sorte que la pression tombe à 2 atmosphères; il respire alors, et je le laisse jusqu'à $10^h 30^m$. Retiré alors, est encore vivant, avec une température rectale de 28° (c'est celle du récipient lui-même); il meurt dans la nuit.

L'air que j'avais pris à 10^h, et qui vraisemblablement n'aurait été que peu altéré consécutivement, contenait CO^2 7,2 ; O 11,1.

Expérience XC. — 19 juillet ; tempér. 25°. Moineau franc, jeune. En 10 minutes, porté à 7 atmosphères ; fermé le robinet à $2^h 10^m$. A $4^h 45^m$ fort malade, yeux fermés. A 10^h du soir, trouvé mort.

Je décomprime rapidement et en examinant la veine jugulaire, j'y vois le sang rouge et spumeux semblable à de la mousse.

L'air mortel contient CO^2 3,7 ; O 16,2.

Expérience XCI. — 20 juillet ; tempér. 21°,5. Moineau franc, jeune. Poussé rapidement à 2 1/2 atmosphères. Fermé robinets à $5^h 30^m$. Malade à $5^h 55^m$; paraît mort à $9^h 45^m$. Je retire de l'air, et j'ouvre l'appareil.

En prenant l'oiseau dans la main, je vois qu'il respire encore un peu, et est encore un peu sensible. La température rectale est 23°,5, probablement égale à celle du récipient. Je lui coupe la tête : il a de très-énergiques mouvements réflexes. L'animal a ainsi vécu 4^h 1/2 environ, dans une quantité d'air correspondant à $2^l,650$ à la pression normale.

Le sang est très-rouge dans le cœur gauche ; moins noir que dans l'état ordinaire à la jugulaire droite : pas de gaz libres dans le sang.

Air mortel : CO^2 11,2 ; O 8,5.

Expérience XCII. — 21 juillet ; moineau franc, jeune. Mis à 5 atmosphères à 10^h du matin : trouvé mort à 1^h.

Air mortel : CO^2 6,0 ; O 14,2.

Expérience XCIII. — 24 juillet ; tempér. 21°. Moineau franc. Mis à 1 1/2 atmosphère à $5^h 10^m$. Meurt à $8^h 45^m$. Température rectale 25°,5 ; sang veineux assez rouge ; pas de gaz libres. A vécu $3^h 35^m$ dans $1^l,580$ d'air, à la pression normale.

Air mortel : CO^2 15,2 ; O 2,6.

Expérience XCIV. — 25 juillet ; tempér. 23°. Moineau franc assez vieux. A $4^h 35^m$ poussé à 2 atmosphères. Trouvé mort à $7^h 45^m$.

Air mortel : CO^2 13,7 ; O 5,0.

Expérience XCV. — 26 juillet ; tempér. 23°. Moineau franc. A $1^h 25^m$, poussé à 5 atmosphères.

Meurt à $4^h 15^m$. Tempér. rectale 23° ; sang et tissus rouges : le cœur battait encore à l'air. A vécu $2^h 50^m$ dans la valeur de $5^l,300$ d'air.

Air mortel : CO^2 5,1 ; O 13,4.

Expérience XCVI. — 4 août. Moineau franc. A $4^h 35^m$ poussé à 6 atmosphères. A $5^h 30^m$, très-malade ; trouvé mort à $9^h 30^m$. Sang veineux rouge ; gaz dans le cœur droit et les jugulaires, mais non dans le cœur gauche.

Air mortel : CO^2 4,2 ; O 16,0.

Expérience XCVII. — 11 août. Moineau franc. A $2^h 55^m$, mis à 1 atmosphère 1/2. Très-malade à 5^h 1/2. Trouvé mort à 9^h ; sang veineux, noir.

Air mortel : CO^2 15,4 ; O 2,5.

EXPÉRIENCE XCVIII. — 17 août. Bruant (*Emberiza citrinella*, Lin.). A 4ʰ45ᵐ, à 1 atmosphère 3/4. Malade à 6ʰ ; trouvé mort à 8ʰ ; sang veineux noir, pas de gaz.

Air mortel : CO^2 12,9 ; O 4,9.

EXPÉRIENCE XCIX. — 19 août ; 22°. Linot (*Fringilla cannabina*, Lin.). Poussé à 8,8 atmosphères. Fermé le robinet à 2ʰ 50ᵐ ; à 3ʰ 45, gêné, fait des efforts de vomissement. A 4ʰ 45ᵐ, se renverse sur le côté, les respirations se ralentissent et s'affaiblissent ; pas de convulsions. A 6ʰ un frémissement dans une patte, puis extension : c'est le dernier mouvement. La température rectale est 25°, 5. Le sang veineux est très-rouge, sans gaz ; le cœur bat encore, oreillettes et ventricules. A vécu 3ʰ 10ᵐ dans 9ˡ,330 d'air à la pression normale.

Air mortel : CO^2 2,8 ; O 17,4.

EXPÉRIENCE C. — 19 août ; tempér. 22°. Linot.

A 6ʰ20ᵐ, est poussé à 95 centimètres de pression ; à 9ʰ 55ᵐ, trouvé mort. Sang veineux noir, sans gaz.

Air mortel : CO^2 13,3 ; O 3,7.

EXPÉRIENCE CI. — 20 août ; moineau friquet.

Mis à 1 atmosphère 1/4.

Air mortel : CO^2 14,3 ; O 3,4.

Les résultats de ces expériences sont groupés, suivant l'ordre croissant des pressions, dans le tableau suivant :

TABLEAU V.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
EXPÉRIENCES	PRESSION	DURÉE DE LA VIE	DURÉE DE LA VIE PAR LITRE D'AIR RAPPORTÉ A 76°.	TENSION DE L'OXYGÈNE	COMPOSITION DE L'AIR MORTEL		$CO^2 \times P$	$O \times P$	$CO^2 + O$	$\frac{CO^2}{O}$
					CO^2	O				
	atm.									
C	1 1/4			26,1	13,3	5,6	15,6	4,2	16,9	77
CI	1 1/4			26,1	14,3	3,4	17,9	4,2	17,7	81
XCIII	1,5	3ʰ,35ᵐ	2ʰ,15ᵐ	31,3	15,2	2,6	22,8	3,9	17,8	83
XCVII	1,5			31,3	15,4	2,5	23,1	3,7	17,9	83
XCVIII	1,75	de 2 à 3ʰ		36,5	12,9	4,9	22,5	8,6	17,8	80
XCIV	2	moins de 3 h.		41,8	13,7	5,0	27,4	10	18,7	86
XCI	2,5	4ʰ,30ᵐ	1ʰ,42ᵐ	52,2	11,2	8,5	28,0	21,2	19,7	90
LXXXIX	3,75	plus de 8 h.		78,3	7,2	11,1	27,0	41,3	18,3	73
XCII	5,0	2ʰ,55ᵐ	33ᵐ	104,5	5,5	13,8	27,5	69	»	77
XCV	5,0									
XCVI	6			125,4	4,2	16,0	25,2	96,0	20,2	85
XC	7			146,3	3,7	16,2	25,9	115,4	19,9	78
XCIX	8,8	3ʰ,10ᵐ	20ᵐ	185,9	2,8	17,4	24,6	153,1	20,2	80

Si nous considérons maintenant ces résultats, en nous attachant tout d'abord à la composition de l'air devenu irrespirable, et le tableau précédent nous rend facile cet examen d'ensemble, nous voyons de suite que la conjecture énoncée en tête de ce sous-chapitre, bien loin d'être vérifiée, s'est trouvée être précisément le contraire de la vérité. Plus la pression a été grande, moins l'oxygène de l'air a été épuisé, comme le montre la colonne 7 du tableau V. A 8^{atm},8, pression la plus élevée que j'aie employée dans cette première série d'expérience, il restait, après la mort, 17,4 d'oxygène.

Cette constatation, déjà fort curieuse, devient tout à fait de nature à étonner, lorsque nous faisons entrer en ligne de compte non-seulement le chiffre exprimant la composition centésimale, mais ce nombre jusqu'ici constant dans nos expériences qui indique la tension de l'oxygène dans l'air devenu mortel. Nous avons vu, dans le premier chapitre, que ce nombre oscille entre 3 et 4. Or, dans les expériences actuelles, la colonne 9 ne nous fournit des chiffres analogues que pour les pressions intermédiaires entre 1 et 2 atmosphères. Et même ici apparaissent déjà les nombres 8 et 10, qui deviennent bientôt 20 et 40, pour arriver à 113 et 153 aux pressions de 7 et de 8,8 atmosphères.

Ainsi donc, au-dessus de 2 atmosphères, la mort dans l'air confiné ne pourrait être attribuée à la privation d'oxygène : il faut chercher quelque autre cause.

Ma première pensée a dû naturellement se porter sur l'acide carbonique.

Or, en considérant la colonne 8, dans laquelle se trouvent inscrits des nombres qui sont obtenus en multipliant la proportion centésimale de l'acide carbonique par le nombre des atmosphères, et qui, par conséquent, représentent la tension de l'acide carbonique dans l'air mortel, nous voyons que, à partir de 2 atmosphères, ces nombres oscillent entre 25 et 30.

Si maintenant nous nous reportons à ce qu'a dit autrefois M. Claude Bernard[1] sur les conditions de la mort d'oiseaux

[1] *Leçons sur les substances toxiques*, p. 140.

renfermés à la pression normale dans un milieu très-oxygéné, nous voyons qu'ils périssent lorsqu'ils y ont formé une proportion d'acide carbonique qui correspond précisément à celle que nous venons d'indiquer. Les nombreuses expériences que j'ai moi-même[1] faites à ce sujet m'ont conduit à des résultats analogues, et j'ai confirmé l'exactitude de l'explication donnée par Cl. Bernard de cette bizarre asphyxie dans un milieu beaucoup plus riche en oxygène que l'air ordinaire. Il s'agit ici d'un véritable empoisonnement dû à l'acide carbonique du sang qui ne peut s'éliminer à cause de la pression qu'exerce sur lui l'acide carbonique contenu dans l'atmosphère ambiante.

C'est donc la pression exercée par cet acide carbonique, pression mesurée précisément, à une atmosphère, par le chiffre même de la composition centésimale, qui est cause de la mort. Or, à des pressions supérieures à une atmosphère, la pression réelle, la tension de l'acide carbonique, s'obtient en multipliant le chiffre de la composition centésimale par le nombre des atmosphères, et c'est ainsi que nous avons obtenu les nombres de la colonne 8.

Nous pouvons donc donner, pour la mort en vases clos, à des pressions plus fortes qu'une atmosphère, une formule tout à fait analogue à celle que nous avons indiquée plus haut (voir page 579) pour les pressions inférieures à une atmosphère, et dire : *La mort des moineaux arrive lorsque la tension de l'acide carbonique, mesurée comme il vient d'être dit, est représentée par un chiffre qui oscille environ entre* 24 *et* 30 ; nous prendrons dorénavant 26 comme nombre moyen.

Il résulte de ceci que, si nous représentions nos résultats par une courbe analogue à celle de la figure 17, dans laquelle les abscisses représenteraient les pressions, et les ordonnées les proportions d'acide carbonique, cette courbe correspondrait à la formule $xy = 25$ à 30, et serait, elle aussi, par conséquent, une branche d'hyperbole équilatère.

Mais il faut tout de suite faire remarquer que cette formule

[1] *Leçons sur la physiologie de la respiration*, p. 517.

ne commence à être vraie qu'à partir de une et demie et surtout de deux atmosphères. Au-dessous, les chiffres de la colonne 8 sont beaucoup plus faibles. C'est que, ici, la quantité d'oxygène mise à la disposition de l'oiseau n'était pas suffisante pour lui permettre la production d'une quantité d'acide carbonique capable de le tuer à elle seule. Sans doute, la tension de l'acide carbonique n'était pas négligeable, surtout quand elle arrivait à valoir 22 ou 23 ; mais il faut dans ce cas mettre en ligne de compte l'épuisement de l'oxygène, dont la colonne 9 nous montre l'état très-avancé. Nous retrouvons, en effet, ici les chiffres variant de 3 et 4 que nous connaissons comme exprimant la pression d'oxygène trop faible pour entretenir la vie.

Influence de la température. — Les résultats qui précèdent ont été obtenus à des températures supérieures à 20°. J'ai voulu savoir si un froid considérable aurait une influence notable sur les chiffres obtenus. Voici ce qui est advenu :

Expérience CII. — 12 décembre ; température du laboratoire + 6°. Moineau franc. Mis à 6 atmosphères ; fermé robinets à 2^h. Entouré complétement l'appareil dans une masse de neige à 0°.

A $4^h\,20^m$, on trouve l'oiseau mort. A $4^h\,25^m$, sa température rectale était de + 4°.

Air mortel : CO^2 2,9 ; O 17,4.

$$CO^2 \times P = 17,4.$$

Expérience CIII. — 13 décembre ; température + 6°. Moineau franc. A 2^h, mis à 5 atmosphères. Entouré l'appareil d'un mélange de glace et de sel dont la température s'abaisse à 12°. On ne peut lire la graduation du thermomètre intérieur. A $3^h\,35^m$, trouvé mort. Tempér. rectale, + 8° ; sang veineux rouge, sans bulles de gaz.

Air mortel : CO^2 3,4 ; O 15,2.

$$CO^2 \times P = 17,0.$$

Expérience CIV. — 14 décembre ; tempér. extér. + 5°. Moineau franc. poussé à $2^h\,50^m$, à 4 atmosphères. Entouré d'un mélange de glace et de sel.

A $4^h\,20^m$, très-malade ; à $4^h\,30^m$, mort. Température intérieure de l'appareil, + 1° ; tempér. rectale, + 17°,5.

Air mortel : CO^2 5,0 ; O 13,3.

$$CO^2 \times P = 20.$$

On voit que l'influence du froid a été très-importante, et

que les oiseaux n'ont pu, dans ces conditions, former autant d'acide carbonique qu'aux températures élevées. Cela se comprend assez bien, à cause du refroidissement propre de l'animal, qui n'était plus compatible avec l'exercice des fonctions, et n'a plus permis les mouvements de la respiration.

Je pense même que c'est à la température qu'il faut attribuer les résultats assez différents de ceux que j'ai rapportés plus haut, obtenus avec le même appareil, mais pendant une saison moins chaude.

Expérience CV. — 31 janvier. Moineau franc. A 3h 50m, poussé à 4 atmosphères. Meurt à 5h 50m. Pas de suffusions crâniennes.

Air mortel : CO^2 5,8 ; O 13, 2.

$$CO^2 \times P = 23,2.$$

Expérience CVI. — 18 mars. Moineau franc. A 2h 10m poussé à 6 atmosphères. Très-malade à 3h 30m ; trouvé mort à 4h 50m. Piqueté rouge au crâne.

Air mortel : CO^2 3, 9 ; O 14,9.

$$CO^2 \times P = 23,4.$$

B. — *Air suroxygéné : pressions inférieures à une atmosphère.*

C'est ici que je crois devoir placer le récit des expériences faites suivant la méthode dont il a été question à la page 561 (sous-chap. Ier), et dans lesquelles des moineaux étaient maintenus en vases clos, à des pressions inférieures à celles d'une atmosphère, mais dans de l'air suroxygéné. Ici, jusqu'aux basses limites qui ont été indiquées, la mort a lieu non par trop faible tension d'oxygène, mais par trop forte tension d'acide carbonique, c'est-à-dire par un mécanisme identique à celui dont nous nous occupons en ce moment.

Voici le détail de ces expériences, faites toutes avec des moineaux : les deux premières sont la répétition de l'expérience classique de Claude Bernard :

Expérience CVII. — 16 janvier. Cloche de 1 litre.

L'oiseau est amené successivement trois fois à 40c de diminution de pression, le vide étant à chaque fois rempli avec de l'oxygène. Le mélange

contient alors 91 pour 100 d'oxygène. Je laisse l'oiseau à la pression normale, et ferme les robinets à 5^h.

Mort à $6^h 15^m$; a vécu $3^h 15^m$.

Air mortel : CO^2, 24,8 ; O 64,5.

$CO^2 + O = 89,3$. Le rapport de l'acide carbonique formé à l'oxygène consommé a été de $\frac{CO^2}{O} = \frac{24,8}{26,5} = 0,93$.

Expérience CVIII. — 16 janvier. Cloche de 1^l.

Amené trois fois de suite à 40^c de dépression; pression définitive, 36^c.

Fermé robinets à $2^h 30^m$; mort à $6^h 15^m$. Pression 34^c. Mélange primitif : O 82.

Air mortel : CO^2 63,3 ; O 17,5.

$$CO^2 + O = 80,8 ; \quad \frac{CO^2}{O} = 0,98. \quad CO^2 \times P = 28,3.$$

Expérience CIX. — 29 janvier. Cloche de 675^{cc}; moineau friquet.

Pression diminuée de 50^c, l'oiseau devient malade; laissé rentrer l'oxygène ; la seconde diminution est poussée à 60^c, malade; laissé rentrer oxygène. Fermé robinets à $3^h 35^m$.

Laissé à pression normale. A 5^h, haletant ; à 6^h, meurt sans convulsions ; un peu de suffusion sanguine au crâne.

Air mortel : CO^2 24,8 ; O 63,3.

Expérience CX. — 30 janvier. Cloche de 1^l 3.

Amené à 44^c, 58^c, 36^c, puis 48^c de diminution. Fermé robinets à $3^h 50^m$; mort à 6^h.

La pression intérieure est de 25^c.

Mélange primitif : O 89,2.

Air mortel : CO^2 72, 1 ; O 15,3.

$$CO^2 + O = 87,4 ; \quad \frac{CO^2}{O} = 0,97.$$

Tension de $CO^2 = 23,7$.

Tension d'O $= 15,3 \times \frac{26}{76} = 5,0$.

Expérience CXI. — 31 janvier. Cloche de 675^{cc}.

Amené à 40^c, 50^c, 50^c de dépression et rempli avec oxygène. La dernière fois, la pression est de 55^c. Fermé robinets à $3^h 20^m$. Meurt à $5^h 15^m$; pas de suffusions sanguines au crâne.

Mélange avant : O 79,6.

Air mortel : CO^2 35,3 ; O 42,3.

$$CO^2 + O = 77,6 ; \quad \frac{CO^2}{O} = 0,94. \quad CO^2 \times P = 25,5.$$

Expérience CXII. — 31 janvier. Cloche de $1^l 3$.

Amené à 40^c, 50^c, 50^c ; la dernière fois, à 45^c de pression.

A la mort, la pression n'est plus que de 36^c.

Mélange primitif: O 89,8.

Air mortel: CO^2 57,6 : O 30,1.

$$CO^2 + O = 87,7;\ \frac{CO^2}{O} = 0,96.\ CO^2 \times P = 27,2.$$

Expérience CXIII. 2 février. Cloche de 1^l,350.

Amené à 30^c,50^c, puis 50^c, et rempli avec oxygène; la dernière fois amené à 58^c de pression.

Fermé robinets à $3^h 45^m$; meurt à $6^h 45^m$; la pression n est plus que de 51^c.

Mélange avant: O 91,5.

Air mortel: CO^2 36,0 ; O 54,9.

$$CO^2 + O = 99,6;\ \frac{CO^2}{O} = 0,98.\ CO^2 \times P = 24,2.$$

Expérience CXIV. — 5 février. Cloche de 1^l, 3.

Amené à 30^c,50^c,50^c ; à la quatrième fois laissé à 45^c de pression.

Mis à 4^h. Mort à $8^h 15^m$, la pression est de 38^c.

Air mortel: CO^2 49,3; O 36,6.

$CO^2 \times P = 24,6$.

Expérience CXV. — 6 février. Cloche de 675^{cc}.

Amené successivement à 30^c, à 50^c et à 50^c de dépression, et rempli à chaque fois avec oxygène. Fermé robinets à $2^h 35^m$; la pression est de 57^c. Mort à $5^h 45^m$. Suffusion crâniennes par places. Pression réelle 55^c.

Mélange avant l'expérience : O 87,8.

Air mortel: CO^2 36,3 ; O 50,1.

$$CO^2 + O = 86,4;\ \frac{CO^2}{O} = 0,97;\ CO^2 \times P = 26,2.$$

Expérience CXVI. — 19 février. Cloche de 675^{cc}.

Amené une fois à 30^c de diminution, et deux autres fois encore à 50^c; à chaque fois, laissé rentrer oxygène. Amené la pression réelle à 64^c. Fermé les robinets à $1^h 50^m$.

Mort à $3^h 35^m$; petites marbrures sanguines au crâne. Sang de la jugulaire rouge.

Air mortel : CO^2 27,7 ; O 54,7.

La tension de CO^2 est $CO^2 \times P = 27,7 \times \frac{64}{76} = 23,3$.

Expérience CXVII. — 19 février. Cloche de 1^l, 35.

Amené à 30^c,50^c,50^c ; la dernière fois laissé à 46^c de pression.

Fermé robinets à 2^h ; à $4^h 15^m$, très-malade. A la mort, la pression est de 43^c. Suffusions crâniennes faibles.

Air mortel: CO^2 42,4 ; O 29,8.

$CO^2 \times P = 24,5$.

Expérience CXVIII. — 19 février. Cloche de 2^l,2.

Amené à 30c,50c,50c, de dépression, puis à 34c de pression réelle.
Fermé à 2h 15m; meurt à 6h 45m; suffusion crânienne énorme.
Pression réelle, 29c.
Air mortel: CO^2 66; O 13,1.
$CO^2 \times P = 25,2$.

La pression de l'oxygène restant n'est que de $13,1 \times \frac{29}{76} = 5$.

Expérience CXIX. — 22 février. Cloche de 2l,5.
Amené à 30c,50c,50c, puis à 38c de dépression. Fermé à 1h 5m. Mort à 7h. Suffusion légère au crâne ; sang veineux rouge.
Pression réelle, 34c.
Air mortel: CO^2 60; O 27,4.
$CO^2 \times P = 26,8$.

Tous ces résultats sont résumés et groupés, suivant l'ordre décroissant des pressions barométriques, dans le tableau suivant ; j'y ai joint les expériences rapportées à la page 563.

TABLEAU VI.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	PRESSION BAROMÉTRIQUE	RICHESSE EN OXYGÈNE DU MÉLANGE PRIMITIF	TENSION DE L'OXYGÈNE PRIMITIF	COMPOSITION DE L'AIR MORTEL		$\frac{CO^2}{O}$	TENSION DE CO^2	TENSION D'O
				CO^2	O		$CO^2 \times P$	$O \times P$
CVII	76c	91	91	24,8	64,5	0,93	24,8	64,5
CIX	76	»	»	24,8	63,3	»	24,8	63,3
CXVI	64	»	»	27,7	54,7	»	23,3	46,0
CXV	55	87,8	63,5	36,3	50,1	0,97	26,2	36,2
CXI	55	79,6	57,6	35,3	42,3	0,94	25,5	30,6
CXIII	51	91,5	61,4	35,7	54,9	0,98	24,2	36,8
CXVII	43	»	»	42,4	29,8	»	24,5	16,8
CXIV	38	»	»	49,3	36,6	»	24,6	18,3
CXII	36	89,8	45,9	57,6	30,1	0,96	27,2	14,2
CVIII	34	82	36,7	63,3	17,5	0,98	28,3	7,8
CXIX	34	»	»	60	27,4	»	26,8	12,2
CXVIII	29	»	»	66	13,1	»	25,2	5,0
CX	25	89,2	29,3	72,1	15,3	0,97	23,7	5,0
XLVII	18	85,9	20,3	68,1	15,4	0,96	15,2	3,6
XLVIII	14	»	»	48	23,8	»	8,8	4,3
XLIX	12,5	88,4	14,5	66	22,2	0,99	10,8	3,6
L	8	82,3	8,6	37,2	41,8	0,92	3,9	4,4
LI	6,6	87	7,5	17,3	66,7	0,85	1,5	5,8

Dans ce tableau un coup d'œil jeté sur les colonnes 5 et 8 suffit pour prouver que nos prévisions se sont réalisées et

que, à ces pressions inférieures à une atmosphère, l'empoisonnement par l'acide carbonique arrive quand la tension de ce gaz peut être exprimée par des nombres oscillant de 24 à 27. C'est le résultat obtenu plus haut pour les pressions supérieures à une atmosphère et demie.

Ceci se tire, comme le montre la colonne 5, des proportions d'acide carbonique qui peuvent s'élever jusqu'à 72 pour 100. Aux pressions très-basses, au-dessous de 20 centimètres, par exemple, la loi ci-dessous n'est plus vérifiée; mais cela se comprend aisément. Prenons comme exemple la pression de 14 centimètres, réalisée dans l'expér. XLVIII. Pour arriver au chiffre moyen de 26, il faudrait que la proportion centésimale de l'acide carbonique dans l'air mortel s'élevât à $26 \times \frac{76}{14} = 141$, ce qui est évidemment impossible. En d'autres termes, avant de pouvoir atteindre la tension mortelle de l'acide carbonique, l'oiseau arrive à épuiser l'oxygène du milieu, de manière à retomber sur le genre de mort habituel dans les pressions diminuées, lorqu'on emploie l'air ordinaire. C'est pourquoi, du reste, nous avons transporté au sous-chapitre Ier les expériences faites dans ces conditions.

L'analogie entre ces deux ordres d'expériences, d'apparence si différente, se fait encore remarquer dans un détail expérimental assez intéressant, et qui, au premier aperçu, m'avait semblé assez paradoxal. Lorsqu'un oiseau sous pression commençant à devenir malade je lui ajoutais de l'air pur, je ne le soulageais nullement; au contraire, une amélioration évidente se manifestait lorsque je laissais échapper une partie de son air. Ceci s'explique aisément; supposons que l'animal soit à 3 atmosphères et qu'il ait déjà formé 6 centièmes de CO^2; la pression de ce gaz, $6 \times 3 = 18$, est suffisante pour rendre malade l'oiseau. Si j'injecte 3 atmosphères d'air pur, la tension de CO^2 devient $3 \times 6 = 18$, c'est-à-dire qu'elle ne change pas, puisque si la pression augmente de moitié, la proportion centésimale diminue de moitié; l'animal n'est donc nullement soulagé. Si, au contraire, je lâche une demi-atmosphère, la tension devient $6 \times 1,5 = 9$, d'où résulte un

mieux-être immédiat. Cet apparent paradoxe confirme donc encore, par voie indirecte, ce que j'ai déjà démontré.

Or, il en est de même pour les expériences à basses pressions, en présence d'une atmosphère suroxygénée. Ici, l'animal devenu malade par l'acide carbonique qu'il a formé n'est point soulagé, si on laisse rentrer de l'air ou de l'oxygène; il l'est, au contraire, lorsqu'on diminue la pression barométrique. Prenons le cas d'un oiseau à 38ᶜ, c'est-à-dire à demi-atmosphère. Supposons qu'il ait déjà formé 30 pour 100 de CO^2; la tension de celui-ci est de $30 \times \frac{1}{2} = 15$ et l'oiseau commence à en souffrir. Laissons rentrer de l'air jusqu'à ce que la pression soit 57ᶜ, c'est-à-dire trois quarts d'atmosphère. La proportion centésimale ne sera plus que $30 \times \frac{2}{3} = 20$, mais la tension sera $20 \times \frac{3}{4} = 15$, et l'oiseau sera dans le même cas qu'auparavant. Si, au contraire, on extrait de l'air et qu'on abaisse, par exemple, la pression à 19, soit un quart d'atmosphère, la proportion centésimale de l'action carbonique n'aura pas changé, et sa tension ne sera plus que de $30 \times \frac{1}{4} = 7{,}5$, tension à peu près inoffensive pour l'oiseau qui sera immédiatement soulagé.

C. — *Air comprimé à très-haute pression : action funeste de l'oxygène.*

L'étude des altérations de l'air comprimé devenu mortel par le confinement devait me fournir un résultat bien autrement intéressant encore.

Déjà, lorsqu'on examine avec attention la colonne 8 du tableau V (p. 585), on voit que, à partir de 6 atmosphères, le chiffre de la tension de l'acide carbonique est un peu inférieur à ce que l'on trouve de 2 à 5 atmosphères et semble aller en diminuant á mesure que la pression augmente. Cette légère différence ne m'avait pas tout d'abord frappé; mais

lorsque je fis, dans le réservoir cylindrique en verre capable de supporter une pression de 25 atmosphères, des expériences à des pressions supérieures à celles du tableau III, j'obtins des chiffres qui me démontrèrent l'intervention d'un nouvel élément dans la question.

Voici le récit de ces expériences :

Expérience CXX. — 16 avril.

Linot; porté à 20 atmosphères, de 4h 55m à 5h10m.

Des convulsions légères apparaissent à 5h 15m; les pattes, la tête, le corps, s'agitent par crises. Meurt à 5h 35m. A vécu 25 minutes.

Air mortel : CO^2 0,4.

$$CO^2 \times P = 8.$$

Expérience CXXI. — 23 avril.

Moineau; à 9h 45m porté à 6 atmosphères. Meurt à 11h 10m ; a vécu environ 1h 20m.

Air mortel : CO^2 3,5; O 16.

$$CO^2 \times P = 21,0.$$

Expérience CXXII. — 23 avril.

Moineau; porté à 3h 10m à 3 atmosphères. A 4h 5m, très-malade ; à 4h 50m, mourant. Mort à 5 heures ; a vécu 1h 50m environ. Piqueté crânien ; sang noir dans la jugulaire : pas de gaz.

Air mortel : CO^2 7,8; O 10,7.

$$CO^2 \times P = 23,4.$$

Expérience CXXIII. — 24 avril.

Moineau friquet; porté à 1h 40m à 5 3/4 atmosphères. A 3 heures vit encore ; trouvé mort à 3h 50m ; a vécu environ 1h 30m. Suffusions crâniennes considérables.

Air mortel : CO^2 3,8; O 15,5.

$$CO^2 \times P = 21,8.$$

Expérience CXXIV. — 26 avril.

Moineau franc; à la pression normale a 144 respirations. Porté à 3 atmosphères à 1 heure; 132 respirations. A 1h 3m, à 6 atmosphères : 130 respirations ; à 1h 6m, à 9 atmosphères : 120 respirations. Fermé les robinets : à 1h 11m, 106 respirations ; à 1h 20m, 80 ; à 1h 50, 50, très-malade : trouvé mort à 2h 25m. A vécu environ 1h 10m.

Sang rouge dans la jugulaire ; suffusions sanguines au crâne.

Air mortel : CO^2 2; O 17,5.

$$CO^2 \times P = 18.$$

Expérience CXXV. — 26 avril.

Moineau franc; à 4h 23m, pression normale, 135 respirations. Commencé la compression. A 4h 27m, 6 atmosphères, 96 respirations. A 4h 29m, 9 atmosphères, 90 respirations; à 4h 31m, 12 atmosphères, 90 respira-

tions. A 4^h 53^m, très-malade. Chaque inspiration, qui est très-forte, est accompagnée d'un frémissement des ailes. A 5^h 10^m, encore quelques respirations ; à 5^h 15^m, meurt.

A vécu 45 minutes. Suffusions crâniennes en piqueté : sang rouge dans la jugulaire.

Air mortel : CO^2 1,2 ; O 18,4.

$$CO^2 \times P = 14,4.$$

Expérience CXXVI. — 7 mai.

Moineau poussé à 15 atmosphères ; fermé l'appareil à 2^h 15^m. A 3^h 20^m, trouvé mort.

Air mortel : CO^2 0,8 ; O 19,5.

$$CO^2 \times P = 11,2.$$

Expérience CXXVII. — 17 mai.

Moineau à 4 atmosphères ; fermé robinets à 4^h 45^m.

S'affaisse à 5^h 34^m ; meurt à 6^h 20. A vécu 1^h 35^m. Écume rouge au bec ; suffusions crâniennes par plaques noirâtres ; sang veineux de couleur normale : pas de gaz.

Air mortel : CO^2 5,6 ; O 13,2.

$$CO^2 \times P = 22,4.$$

Expérience CXXVIII. — 18 mai.

Moineau à 8 atmosphères : 3^h 17^m.

Mort à 4^h 55^m ; a vécu 1^h 38^m. Écume rouge au bec ; suffusions sanguines par plaques rougeâtres ; sang veineux rouge et contenant quelques bulles de gaz.

Air mortel : CO^2 2,4 ; O 16,8.

$$CO^2 \times P = 19,2$$

Expérience CXXIX. — 21 mai.

Moineau à 14 atmosphères ; fermé le robinet à 4^h 55^m. Trouvé mort à 6 heures : a vécu moins d'une heure.

Sang veineux très-rouge, avec du gaz. Suffusions crâniennes très-considérables.

Air mortel : CO^2 0,9 ; O 18,5.

$$CO^2 \times P = 12,6.$$

Expérience CXXX. — 22 mai.

Moineau ; à 12 atmosphères, à 2^h 45^m. Trouvé mort à 3^h 40^m ; a vécu moins de 55 minutes.

Sang rouge dans la jugulaire, avec du gaz. Suffusions crâniennes.

Air mortel : CO^2 1,3 ; O 19,1.

$$CO^2 \times P = 15,6.$$

Expérience CXXXI. — 18 juin.

Moineau ; porté à 14 atmosphères à 3^h 33^m. Mort à 4^h 12^m. A vécu 39 minutes. Il y a eu de l'agitation, mais pas de convulsions.

Sang veineux très-rouge, avec du gaz. Suffusions crâniennes très-étendues, d'un rouge vif.

Air mortel : CO^2 0,93.

$$CO^2 \times P = 13,2.$$

Expérience CXXXII. — 19 juin.

Moineau; porté à 3h 4m à 2 atmosphères. Mort à 6h 53m sans convulsions, sans écume au bec ; a vécu 3h 49m. Le diploë crânien contient des suffusions sanguines par plaques noirâtres peu étendues. La couleur du sang veineux est normale : pas de gaz.

Air mortel : CO^2 12,6 ; O 3,2.

$$CO^2 \times P = 25,2.$$

Expérience CXXXIII. — 19 juin.

Moineau; porté à 17 atmosphères de 2h 4m à 2h 15m. Meurt à 2h 54m. A vécu 39 minutes : respiration très-lente, pas de convulsions, écume rouge au bec.

Suffusions sanguines très-étendues ; sang veineux très-rouge, contenant beaucoup de gaz.

Air mortel : CO^2 0,6 ; O 18,6.

$$CO^2 \times P = 10,2.$$

Avant de passer à l'étude des résultats de ces expériences, résultats qui sont groupés dans le tableau VII, suivant l'ordre croissant des pressions, je crois devoir faire

TABLEAU VII.

1 NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	2 PRESSION	3 DURÉE DE LA VIE	4 DURÉE DE LA VIE POUR UN LITRE D'AIR A 76c	5 TENSION PRIMITIVE DE L'OXYGÈNE	6 COMPOSITION DE L'AIR MORTEL CO^2	7 O	8 $CO^2 \times P$	9 $O \times P$	10 $\frac{CO^2}{O}$
	atm	h m	h m						
CXXXII. . .	2	3 49	3 4	41,8	12,6	3,2	25,2	6,4	0,72
CXXII. . . .	3	1 50	1	62,7	7,8	10,7	23,4	32,1	0,75
CXXVII . . .	4	1 35	39	83,6	5,6	13,2	22,4	52,8	0,72
CXXIII. . . .	5 3/4	1 30	27	120,1	3,8	15,5	21,8	89,1	0,70
CXXI	6	1 20	22	125,4	3,5	16	21,0	96	0,71
CXXVIII . .	8	1 38	20	167,2	2,4	16,8	19,2	134,4	0,60
CXXIV. . . .	9	1 10	14	188,1	2	17,5	18,0	157,5	0,59
CXXV. . . .	12	45	6	250,8	1,2	18,5	14,4	222,8	0,50
CXXX. . . .	12	»	»	250,8	1,3	18,7	15,6	224,4	0,59
CXXIX . . .	14	»	»	292,6	0,9	18,5	12,6	263,2	0,43
CXXXI. . . .	14	59	4	292,6	0,9	»	13,2	»	»
CXXVI. . . .	15	»	»	313,5	0,8	19,4	11,2	291	0,53
CXXXIII. . .	17	39	3	355,3	0,6	18,8	10,2	319,6	0,30
CXX.	20	25	2	418,0	0,4	»	8	»	»

observer que les analyses de gaz qui précèdent ont été faites avec un soin minutieux, soin dont la nécessité toute spéciale est ici facile à démontrer. On voit, en effet, que la moindre erreur dans l'évaluation de la proportion de l'acide carbonique donnerait sur le produit $CO^2 \times P$ une erreur énorme pour les pressions élevées. La concordance des résultats énoncés et sur lesquels je vais insister maintenant n'en est que plus remarquable.

Un coup d'œil jeté sur la colonne 8 du tableau, colonne qui contient les nombres exprimant la tension de l'acide carbonique dans l'air devenu irrespirable, confirme complétement les soupçons que nous avait fait concevoir l'examen du tableau de la page 585 pour ce qui a rapport aux hautes pressions.

En effet, le nombre $CO^2 \times P$, n'est à vrai dire, et en y regardant de très-près, jamais constant. On le voit diminuer dès 3 atmosphères, et cette diminution est extrêmement rapide à partir de 8 atmosphères.

La quantité de plus en plus faible de l'acide carbonique, eu égard à la loi ci-dessus énoncée, se montre d'une manière très-nette sur les graphiques de la figure 21, où la quantité d'acide carbonique se mesure sur l'axe vertical, tandis que les atmosphères sont comptées sur celui des x. La ligne pleine B exprime les chiffres de la colonne 6, et, d'autre part, la ligne pointillée A rejoint des points qui sont calculés en partant de l'équation $CO^2 \times P = 26$, chiffre moyen tiré du tableau VI, d'où $CO^2 = \frac{26}{P}$. Cette ligne est, de même que celle des proportions mortelles de l'oxygène dans les basses pressions, une branche d'hyperbole équilatère, ayant pour asymptotes les coordonnées.

Cet abaissement constant du tracé au-dessous de la courbe qu'indiquait la théorie, devait me donner à penser à l'intervention d'un agent autre que l'acide carbonique. Déjà des expériences de tâtonnement m'avaient montré que l'oxygène, sous une certaine pression, est une cause d'accidents et de mort. Son rôle funeste me paraissait manifeste ici.

Avant de chercher à mettre en évidence ce fait dominateur, je veux encore appeler l'attention sur un point secondaire, qui n'est cependant pas sans intérêt.

Les colonnes 3 des tableaux de la page 585 et de la page 597 montrent que, sauf quelques exceptions difficiles à expliquer, la durée de la vie, de 1 à 9 atmosphères, n'a nullement augmenté avec la pression, ou en d'autres termes, avec la quantité d'air que les oiseaux avaient à leur disposition. Et cela

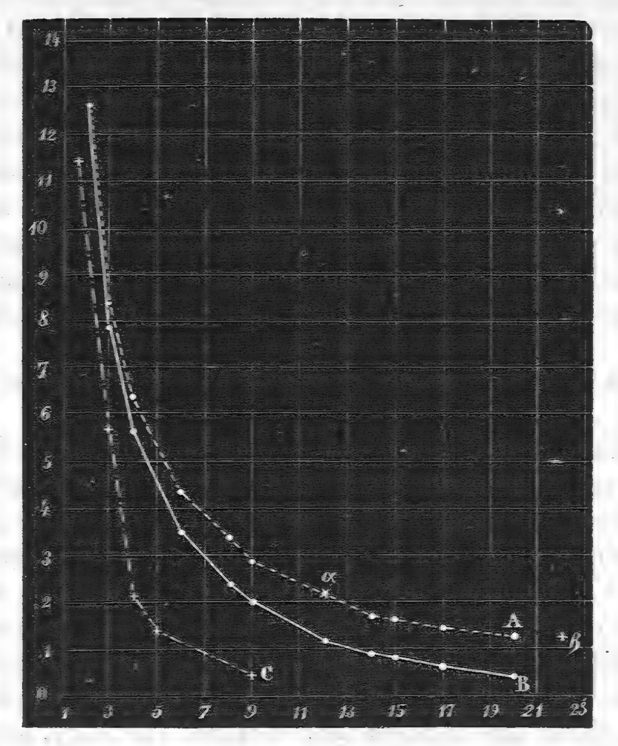


Fig. 21. — Air confiné devenu mortel sous pression ; richesse en acide carbonique : A, proportions calculées; B, proportions trouvées expérimentalement ; C, air suroxygéné.

se comprend aisément, puisqu'ils ne mourraient point pour avoir épuisé cet air, mais simplement lorsqu'ils avaient formé une certaine quantité d'acide carbonique, toujours le même ou à peu près. L'intervention fâcheuse de l'oxygène que je viens de signaler, a même pour effet de diminuer la

durée de la vie, comme on le voit nettement à partir de 10 atmosphères; la mort devient très-rapide aux pressions fort élevées.

Cela est bien autrement manifeste lorsque l'on compare la durée de la vie non plus au volume, mais à la quantité réelle d'air contenue dans le récipient, ou, ce qui revient au même, à un litre d'air rapporté à la pression normale; elle s'exprime alors par des chiffres qui vont en décroissant avec une rapidité vraiment extraordinaire. C'est ce que montrent les colonnes 4 des tableaux V et VII; on voit que, déjà à 4 atmosphères, la durée de la vie est réduite de moitié environ, et, qu'à 20 atmosphères, elle n'est plus que de 2 minutes par litre, au lieu de 76 minutes, comme nous l'avions trouvé à la pression normale (Voir tableau I, p. 548, col. 7). On ne peut accuser de cette différence énorme l'acide carbonique, dont la tension diminue également; un autre agent intervient évidemment ici, et cet agent redoutable n'est autre que l'oxygène.

D. — *Compression avec de l'air pauvre en oxygène.*

Examinons maintenant cette hypothèse d'une action funeste de l'oxygène comprimé ayant pour effet de faire mourir l'oiseau avant qu'il ait formé la proportion centésimale d'acide carbonique exigé par la formule $CO^2 \times P = 26$ établie à la page 587. Reportons-nous au tableau de la page 597. Si l'explication que je viens de donner de la faiblesse des nombres de la colonne 8 ($CO^2 \times P$), mesurant la tension de l'acide carbonique est exact, c'est-à-dire si cette faiblesse est due à la valeur élevée des nombres de la colonne 5 ($O \times P$), mesurant la tension de l'oxygène, les premiers devront augmenter si je fais diminuer les seconds, en diminuant le facteur O, sans rien changer au facteur P.

Il suffisait donc de répéter les expériences en injectant dans l'appareil à compression non plus de l'air ordinaire, mais de l'air pauvre en oxygène. C'est ce qui a été fait dans les expériences suivantes :

EXPÉRIENCE CXXXIV. — 20 avril.

Verdier. (*Loxia chloris*, Lin.) Mis dans l'appareil pendant 5 minutes, puis poussé à 6 atmosphères d'air ; robinet fermé à 2h 50m. A 3h, on commence à injecter de l'air très-épuisé d'oxygène, et à 3h 11m, on arrive à 22 atmosphères.

L'instant de la mort ne peut être déterminé nettement, mais l'oiseau n'a eu de mouvements convulsifs à aucun moment.

Suffusions crâniennes considérables.

Air mortel : CO^2 1,1 ; O 9.

Tension initiale de l'oxygène : 226.

Tension finale de CO^2 24,2.

EXPÉRIENCE CXXXV. — 27 juin.

On place un moineau dans l'appareil, et on injecte avec la pompe de l'air où du phosphore a brûlé et qui est devenu très-pauvre en oxygène ; on arrive ainsi à 5 atmosphères.

Le robinet étant fermé à 3h 55m, l'oiseau meurt à 5h 50m. Il a ainsi vécu 1h 55m ; suffusions sanguines peu étendues ; quelques bulles de gaz dans le cœur droit.

Composition de l'air mortel CO^2 4,5 ; O 5.

Tension initiale de l'oxygène 50.

Tension finale de l'air carbonique 22,5.

EXPÉRIENCE CXXXVI. — 29 juin.

Moineau à 12 atmosphères, dont 1 d'air et 11 d'air où du phosphore a brûlé.

Mis à 2h 45m ; mort à 3h 15m ; a vécu 30 minutes : suffusions crâniennes ; gaz dans le cœur droit.

Air mortel CO^2, 2, 1 ; O 4, 8.

Tension initiale de l'oxygène : 84.

Tension finale de CO^2 : 25,2.

Ces résultats justifient tout à fait notre explication, et montrent bien que c'est à l'intervention de l'oxygène jouant un rôle funeste que doit être attribuée la décroissance du produit $CO^2 \times P$, quand la pression augmente.

On voit du reste que les points α et β, qui représentent, sur la figure 21, les nombres fournis par les expériences CXXXIV et CXXXVI, se plaçent, comme on le voit, très-exactement sur la ligne A, tracée d'après la théorie.

E. — *Compression avec de l'air suroxygéné.*

Cette influence funeste de l'oxygène, sous une pression suffisamment élevée, constituait un phénomène trop remar-

quable pour que je ne m'efforçasse point d'épuiser tous les moyens de la mettre dans une évidence indiscutable.

Or, une nouvelle méthode se présentait à moi, inverse de celle qui vient d'être employée. Je n'avais qu'à faire la compression avec de l'air suroxygéné, toujours en vases clos. L'influence de l'oxygène, si elle est aussi fâcheuse que je le supposais, devrait avoir pour conséquence d'amener la mort des animaux à un moment où ils seraient loin d'avoir fourni la même proportion centésimale d'acide carbonique qu'aux pressions correspondantes, dans le cas de l'air ordinaire. C'est, en effet, ce qui est arrivé dans les expériences suivantes :

EXPÉRIENCE CXXXVII. — 16 janvier.

Moineau à 5 atm. dont 4 d'oxygène.

Mis à 3h 25m ; à 3h 40m, se renverse avec convulsions violentes ; à 3h 48m, sur le dos : le crâne, dénudé préalablement, montre d'abondantes suffusions sanguines. A 4h 35m, respire encore lentement ; les convulsions ont duré 15 minutes environ.

A 4h 50m est mort. La température rectale est 18°, celle de l'air du laboratoire étant de 9°. Sang veineux rouge ; pas de gaz ; le cœur bat à l'air.

Le mélange primitif contenait O : 83.

La tension de cet oxygène $= 83 \times 5 = 415$, correspondant à celle de $\frac{415}{20,9} = 19,7$ atmosphères.

Air mortel : CO^2 1,4 ; O 80,5.

Tension de $CO^2 = 1,4 \times 5 = 7,0$.

EXPÉRIENCE CXXXVIII. — 17 janvier.

A 3h 30m porté à 3 atmosphères, dont 2 d'oxygène.

A 3h 50m respire très-difficilement ; agitation. A 4h 45m, mort.

Air mortel : CO^2 5, 6 ; O 78,9.

Tension de $CO^2 = 5,6 \times 3 = 16,8$.

La tension de l'oxygène primitif devait être d'environ $86 \times 3 = 258$, correspondant à 12,1 atmosphères.

EXPÉRIENCE CXXXIX. — 19 janvier.

Le moineau étant dans l'appareil, on retire un peu d'air avec la machine pneumatique, et on le remplace par de l'oxygène qu'on pousse jusqu'à 2 atmosphères. En prenant de l'air pour l'analyse, la pression tombe à 1 3/4 atmosphères.

Fermé robinets à 2h 40m ; mourant à 4h 45m ; trouvé mort à 5h 30m.

Mélange primitif contient 83, 6 p. 100 d'oxygène.

Tension de cet oxygène $= 83,6 \times 1,75 = 146,3$, ce qui correspond à 7,3 atmosphères.

Air mortel : CO^2 11,9 ; O 67,8.

Tension de $CO^2 = 11,9 \times 1,75 = 20,8$.

Expérience CXL. — 22 janvier.

Mis à 2 atm. dont 1 d'oxygène.

Mis à 3^h 5^m ; à 5^h 30^m respire encore ; trouvé mort à 6^h 30^m.

Le mélange primitif contient O 58,8.

La tension de l'O était 117,6, correspondant à 5,6 atmosphères.

Air mortel : CO^2 13,4 ; O 44, 4.

Tension de $CO^2 = 13,4 \times 2 = 26,8$.

Expérience CXLI. — 1er février.

Mis à 4 atm. dont 3 d'oxygène. Après environ une demi-heure, convulsions assez faibles ; meurt en 1 heure environ.

Suffusions crâniennes et sang veineux très-rouge : pas de gaz dans le sang.

Mélange primitif O 75,6.

Tension de cet $O = 75,6 \times 4 = 302,4$ correspondant à 14,4 atmosphères.

Air mortel : CO^2 2,1 ; O 71,1.

Tension de $CO^2 = 2,1 \times 4 = 8,4$.

Expérience CXLII. — 17 février.

Mis à 5 atmosphères d'air, auxquelles on ajoute 3 1/2 atmosphères d'oxygène. Après 5 minutes surviennent les convulsions ; l'oiseau meurt en 20 minutes.

Sang rouge partout, même dans le foie ; pas de gaz (on n'examine pas le crâne).

Air mortel : CO^2 ; 0, 8 ; O 47,8.

Tension de $CO^2 = 0,8 \times 8,5 = 6,8$.

La tension de l'O dans le mélange primitif a dû être environ de $51 \times 8,5 = 433,5$ correspondant à 20,7 atmosphères.

Expérience CXLIII. — 19 février. Appareil à eau de Seltz.

Mis dans l'air et chargé d'un 1/4 d'atmosphère d'oxygène ; fermé à 4^h 25^m ; mort vers 6^h.

Pas de suffusions sanguines au crâne ; sang veineux noir.

Air mortel : CO^2 22,1 ; O 3,5,

Tension de $CO^2 = 22,1 \times 1,25 = 27,6$,

Tension d'$O = 3,5 \times 1,25 = 4,3$.

La tension primitive de l'oxygène devait être environ $26 \times 1,25 = 32,5$, ce qui correspond à 1,5 atmosphère.

Expérience CXLIV. — 20 février.

1 atmosphère d'air, plus une demie d'oxygène.

Quand on retire l'oiseau, le croyant mort, il présente encore quelques

petits mouvements respiratoires. Sang rouge dans la jugulaire. Pointillé rouge dans le diploë crânien.

Air mortel CO^2 16,7 ; O 28,6.

Tension de $CO^2 = 16,7 \times 1,5 = 25,1$.

La tension primitive de l'oxygène devait être environ $46 \times 1,5 = 69$, correspondant à 3,3 atm.

Expérience CXLV. — 20 février.

A 5 1/2 atmosphères, dont 4 d'oxygène.

Après 5^m, tremblote, la tête oscille. Après 10^m, grandes convulsions, les pattes sont repliées sous le ventre ; les convulsions durent 5 à 10^m, puis les pattes s'étendent à plusieurs reprises. L'oiseau reste affaissé ; après 20^m, est mort.

Suffusion énorme du crâne. Température rectale 26°,5.

Air mortel : CO^2 1 ; O 82,5

Tension de $CO^2 = 5,5$.

La tension de l'O, dans le mélange primitif devait être à peu près $85 \times 5,5 = 467,5$, correspondant à 22,3 atmosphères.

Expérience CXLVI. — 22 février.

Mis à 2 1/2 atm. dont 1/2 d'oxygène.

Fermé à 12^h 55^m; mort à 3^h 55^m. Suffusions sanguines dans l'épaisseur du diploë crânien; sang rouge dans la veine jugulaire, devient rapidement noir.

Air mortel CO^2 11,1; O 33,3.

Tension de $CO^2 = 11,1 \times 2,5 = 27,7$.

La tension primitive de l'oxygène devait être d'environ $46 \times 2,5 = 115,5$, ce qui correspond à 5,5 atmosphères.

Les résultats de ces expériences sont groupés dans le tableau VIII, suivant l'ordre croissant des tensions de l'oxigène.

Si nous envisageons la colonne 9, nous voyons que l'acide carbonique obéit à la loi posée, jusqu'à une pression correspondant à 5 ou 6 atmosphères d'air; mais, à partir de là, le produit $CO^2 \times P$ va en diminuant rapidement. En comparant d'une part les colonnes 7 et 9 avec les colonnes 6 et 8 du tableau VII (page 597), on rencontre des nombres tout à fait analogues, qui indiquent une semblable intervention de l'action funeste de l'oxygène. Elle devient très-évidente, quand la tension de ce gaz peut être représentée par 150, c'est-à-dire correspondre à une atmosphère et demie d'oxygène pur, ou à 7 atmosphères d'air.

Dans la figure 21 (p. 599) la ligne inférieure C exprime les

TABLEAU VIII.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	PRESSION BAROMÉTRIQUE	TENSION D'OXYGÈNE DANS LE MÉLANGE PRIMITIF	QUANTITÉS CORRESPONDANTES D'ATMOSPHÈRES D'AIR	DURÉE DE LA VIE	DURÉE DE LA VIE POUR UN LITRE D'AIR A 76°	COMPOSITION DE L'AIR MORTEL		$CO^2 \times P$	PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX PRÉSENTÉS PAR LES ANIMAUX
						CO^2	O		
	atm.		atm.	h. m.	h. m.				
CXLIII. .	1,25	32,5	1,5	1 30	1 36	22,1	3,5	27,6	Pas de suffusions crâniennes.
CXLIV. .	1,5	69,0	3,3	»	»	16,7	28,6	25,1	Pointillé rouge au crâne.
CXLVI. .	2,5	115,5	5,5	3	53	11,1	33,3	27,7	Suffusions crâniennes.
CXL . . .	2,0	117,6	5,6	3	52	13,4	44,4	26,8	»
CXXXIX. .	1,75	146,3	7,3	2 20	31	11,9	67,8	20,8	»
CXXXVIII.	3,0	258,0	12,1	1 15	10	5,6	78,9	16,8	»
CXLI. . .	4,0	301,6	14,4	1	7	2,1	71,1	8,4	Convulsions, suffusions.
CXXXVII .	5,0	415,0	19,7	1 20	6	1,4	80,5	7,0	Id. id.
CXLII. .	8,5	433,5	20,7	20	2	0,8	47,8	6,8	Id. id.
CXLV. . .	5,5	467,5	22,3	20	1	1,0	82,5	5,5	Id. id.

nombres de la colonne 9; on voit que, pour les mêmes pressions barométriques, elle reste fort au-dessous de la ligne B qui représente les résultats des expériences dans lesquelles on employait l'air ordinaire.

Enfin, la colonne 6 montre, comme l'avait fait la colonne 4 du tableau VII, que la durée de la vie, rapportée à un litre d'air ordinaire sous la pression normale, va en diminuant avec une rapidité étonnante, quand augmente la pression, ou pour mieux dire, la tension de l'oxygène.

Il est donc surabondamment démontré que l'oxygène, sous une certaine tension, est un agent redoutable qui, dans l'air comprimé en vases clos, vient d'abord mêler son action à celle de l'acide carbonique produit, et qui, pour les hautes tensions, est la cause principale, bientôt unique de la mort : cette tension, mesurée par l'expression $O \times P$, pouvant être atteinte, suivant la remarque déjà si souvent faite, en augmentant soit la pression barométrique P, soit la richesse centésimale O.

Mais il reste établi, en même temps, que la formule énoncée page 587, touchant la mort par l'acide carbonique en trop forte tension, demeure l'expression de la vérité. Il faut seulement, pour la vérifier expérimentalement, se mettre à l'abri de l'excès d'oxygène.

F. — *Compression avec de l'air ordinaire : élimination de l'acide carbonique.*

La présence de l'acide carbonique m'avait empêché, comme on vient de le voir, de trouver la véritable loi qui détermine l'épuisement de l'oxygène de l'air comprimé, pour les animaux qu'on y laisse périr en vases clos.

Mais l'action funeste de l'oxygène comprimé, que les études dont je viens de rendre compte m'avaient révélée, ne me permettait plus de penser que la loi si simple, établie pour les pressions inférieures à celle d'une atmosphère, pourrait continuer à s'appliquer aux pressions supérieures.

Il était cependant nécessaire de préciser les faits. Rien de plus simple, en apparence; il suffisait de disposer les expériences de manière à ce que l'acide carbonique fût éliminé au fur et à mesure de sa formation, en telle sorte qu'il n'intervînt pas dans le phénomène. Mais la capacité fort restreinte des récipients que j'avais à ma disposition rendait la manœuvre assez difficile, parce que l'oiseau, en se remuant, finit presque toujours par se mettre au contact de la potasse, d'où résultent des brûlures, un trouble considérable et souvent une mort prématurée.

Je n'ai pu obtenir une série de résultats satisfaisants qu'en faisant usage de l'appareil dont le récipient est une bouteille à mercure; il m'a été facile alors de multiplier les expériences, grâce à la capacité et à la largeur d'ouverture de mon récipient. De plus, sa grande solidité m'a permis de pousser la compression beaucoup plus haut que dans les appareils de verre. Le seul inconvénient était l'opacité, qui empêchait de suivre les phases de l'expérience et de déterminer le moment précis de la mort des animaux.

Je remplissais une partie du cylindre avec de l'eau contenant de la potasse en dissolution. Le moineau enfermé dans une petite boule en grillage, était suspendu au-dessus du liquide. Dans ces conditions, on ne trouvait pas trace d'acide carbonique dans l'air où il avait séjourné et péri.

Je rapporte ici une série d'expériences tout à fait caractéristiques :

EXPÉRIENCE CXLVII. — 18 septembre. Moineau à 3 atmosphères 1/4. Laisse dans l'air où il meurt 1 pour 100 d'oxygène.
Tension de l'oxygène : $O \times P = 1 \times 3,25 = 3,25$.

EXPÉRIENCE CXLVIII. — 22 septembre. Moineau à 6 atmosphères 1/4. Laisse 0,8 p. 100 d'oxygène.

$$O \times P = 5.$$

EXPÉRIENCE CXLIX. — 3 octobre. Moineau à 9 atmosphères. Laisse 2,2 p. 100 d'oxygène,

$$O \times P = 20,8.$$

EXPÉRIENCE CL. — 7 octobre. Moineau à 12 atmosphères. Laisse 5,6 p. 100 d'oxygène.

$$O \times P = 67,2.$$

EXPÉRIENCE CLI. — 6 janvier. Moineau à 15 atmosphères. Laisse 14,5 p. 100 d'oxygène.

$$O \times P = 217,5.$$

EXPÉRIENCE CLII. — 30 septembre. Moineau à 20 atmosphères. Laisse 18,3 p. 100 d'oxygène.

$$O \times P = 366,0.$$

EXPÉRIENCE CLIII. — 1er octobre. Moineau à 24 atmosphères. Laisse 20,3 p. 100 d'oxygène.

$$O \times P = 487,2.$$

TABLEAU IX.

1 NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	2 PRESSIONS	3 TENSION INITIALE DE L'OXYGÈNE	4 AIR MORTEL OXYGÈNE POUR 100	5 TENSION DE CET OXYGÈNE
	atm.			
CXLVII	3 1/4	67,9	1	3,2
CXLVIII	6 1/4	130,6	0,8	5,0
CXLXIX.	9	188,1	2,2	20,8
CL	12	250,8	5,6	67,2
CLI.	15	313,5	14,5	217,5
CLII.	20	418,0	18,3	366,0
CLIII	24	501,6	20,3	487,2

Le tracé A du graphique ci-dessous exprime les résultats de ces dernières expériences; la richesse en oxygène de l'air où sont morts les animaux est marquée sur l'axe des y : les

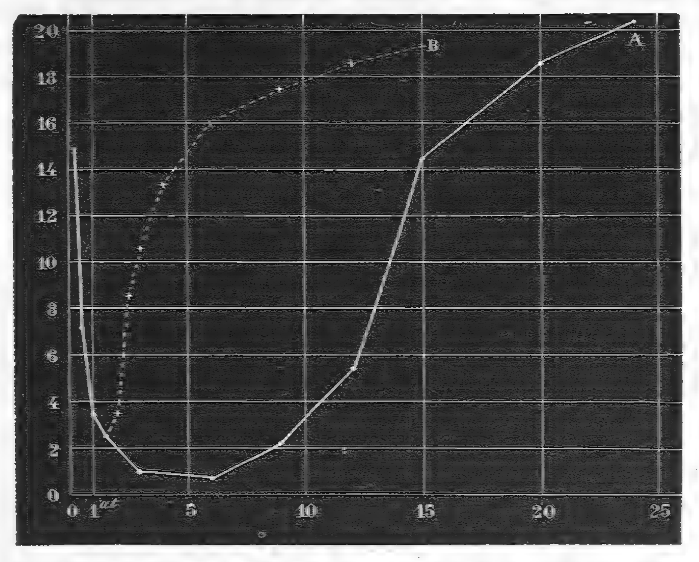


Fig. 22. — Air confiné devenu mortel sous des pressions de 20 cent. à 24 atm. richesse en oxygène : A, sans acide carbonique; B, avec l'acide carbonique.

pressions manométriques le sont sur celui des x. J'y ai joint les résultats déjà acquis pour les pressions inférieures à une atmosphère.

On voit que l'épuisement de l'air arrive à son maximum aux environs de 6 atmosphères. A des pressions plus fortes, il diminue rapidement, si bien qu'à 24 atmosphères, l'animal périt dans un air presque pur.

L'action redoutable de l'oxygène se manifeste de la manière la plus évidente, surtout en arrivant vers 15 atmosphères.

Le tracé B exprime les résultats des colonnes 7 des tableaux V et VII (p. 585 et p. 597), c'est-à-dire la proportion d'oxygène qui reste dans l'air comprimé quand on a laissé l'acide carbonique agir sur l'animal en expérience. On voit que les deux courbes ne coïncident que jusqu'à une atmosphère et demie; au-dessus, l'acide intervient énergiquement et détermine la mort dans un air à peine appauvri.

§ 3. — Conclusions.

Les conclusions à tirer des faits énoncés dans le présent sous-chapitre sont plus complexes que celles du sous-chapitre précédent; l'intervention de l'acide carbonique et celle de l'oxygène, pour les très-hautes pressions, viennent les compliquer. Nous distinguerons donc :

1° Dans l'air confiné, aux pressions supérieures à celle d'une atmosphère, si l'on a soin d'éliminer l'acide carbonique au fur et à mesure de sa production, la mort survient dans les mêmes conditions que pour les pressions inférieures à une atmosphère, c'est-à-dire lorsque la tension de l'oxygène s'abaisse à une valeur déterminée (3, 6 en moyenne pour les moineaux).

Ceci n'est vrai que jusqu'aux environs de six atmosphères; au delà, l'oxygène comprimé agit de manière à empêcher l'épuisement correspondant à la formule.

2° Quand l'acide carbonique n'est pas absorbé, il devient cause de mort au moment où sa tension s'élève à une certaine valeur (de 25 à 28 pour les moineaux).

Ceci n'est absolument exact qu'à la condition d'employer, pour les pressions un peu élevées, de l'air fort peu riche en

oxygène, afin que la tension de ce dernier gaz ne s'élève pas au point de le rendre redoutable à la vie même des animaux.

SOUS-CHAPITRE III

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

En résumé, l'étude de la mort dans l'air confiné sous des pressions diverses, si nous en dégageons les résultats principaux des questions incidentes que nous avons chemin faisant soulevées et résolues, nous amène aux formules suivantes.

Dans l'air ordinaire :

A. — Aux pressions inférieures à celles d'une atmosphère, la mort des animaux survient lorsque la tension de l'oxygène de l'air est réduite à une certaine valeur constante (qui pour les moineaux équivaut en moyenne à $O \times P = 3,6$).

B. — Pour les pressions comprises entre 2 et 9 atmosphères environ, la mort arrive lorsque la tension de l'acide carbonique s'élève à une certaine valeur constante (qui pour les moineaux équivaut en moyenne à $CO^2 \times P = 26$).

C. — Pour les pressions très-élevées, la mort est due exclusivement à la tension trop considérable de l'oxygène ambiant. Elle arrive rapidement quand la tension de ce gaz atteint 3 ou 400.

D. — Pour les pressions de 1 à 2 atmosphères, la mort semble être due surtout à l'abaissement de la tension d'oxygène, mais en partie également à l'augmentation de la tension de CO^2.

E. — A partir de 3 ou 4 atmosphères, l'intervention funeste de l'oxygène commence à se faire sentir, et devient très-manifeste vers 9 ou 10 atmosphères.

Les expériences faites soit avec des mélanges gazeux plus ou moins riches en oxygène, soit en présence d'alcalis capables d'absorber l'acide carbonique à mesure qu'il se forme, nous amènent à donner à ces lois un caractère de généralité bien plus grand encore, et nous pouvons les formuler de la

manière suivante (en les appliquant, pour plus de clarté, aux moineaux) :

La tension d'un gaz étant représentée par le produit de sa proportion centésimale que multiplie la pression barométrique, on voit que la mort arrive :

A. — Quand la tension de l'oxygène s'abaisse au-dessous de 3,6, que la pression barométrique soit supérieure ou inférieure à la pression normale : il faut, bien entendu, dans le premier cas, se débarrasser de l'acide carbonique par un alcali.

B. — Quand la tension de l'acide carbonique s'élève au-dessus de 26, que la pression soit supérieure ou inférieure à la pression normale : il faut, bien entendu, dans ce dernier cas, employer des mélanges suroxygénés.

Ce que nous disons de l'acide carbonique doit être généralisé pour tous les poisons gazeux (CO,HS, etc.); la valeur numérique seule de la tension mortelle changera. Nous reviendrons sur ce point en parlant de l'hygiène des ouvriers *des tubes* à compression.

C. — Quand la tension de l'oxygène arrive aux environs de 300, quelles que soient la composition centésimale et la pression (celle-ci ne pouvant être évidemment inférieure à 3 atmosphères, avec l'oxygène pur).

D. — Ces genres de mort peuvent se combiner deux à deux, A avec B et B avec C, suivant les pressions et les compositions gazeuses employées.

La mort A est une véritable *asphyxie* par privation d'oxygène; la mort B est un *empoisonnement par l'acide carbonique;* la mort C peut être appelée, pour la facilité du discours, et malgré ce qu'il y a d'étrange dans une pareille expression, un *empoisonnement par l'oxygène.*

On voit, et c'est là le résultat le plus général auquel nous arrivions, que dans tous les cas la pression barométrique, dans ses variations, n'est jamais directement, par elle-même, la cause des phénomènes. Elle n'est qu'une des conditions qui font varier la tension des gaz, et l'autre facteur, la composition centésimale, peut parfaitement, s'il marche en sens inverse, en contrebalancer les effets, de même qu'il les aug-

mentera rapidement, s'il marche dans le même sens.

Si maintenant nous laissons de côté l'acide carbonique produit, pour nous placer dans des conditions plus voisines de celles où se présente, dans la nature ou l'industrie, le problème qui nous occupe, nous en arrivons à conclure, en laissant de côté certains phénomènes tout à fait secondaires sur lesquels nous reviendrons en leur lieu :

1° Que trois animaux, dont l'un épuise par sa respiration un espace clos plein d'air ; dont le second est contraint de respirer dans un courant d'air de moins en moins riche en oxygène ; dont le troisième est soumis à une diminution graduelle de pression, sont tous les trois, par ces procédés si divers, menacés des mêmes accidents et de la même mort, de la mort par privation d'oxygène, par véritable asphyxie ;

2° Que deux animaux, dont l'un respire dans un courant d'air de plus en plus riche en oxygène et dont l'autre est soumis à une pression barométrique croissant de 1 à 5 atmosphères, sont dans des conditions identiques. Que, au delà, l'animal qui respire de l'oxygène pur à 2, 3, 4 atmosphères, etc., est dans les mêmes conditions que celui qui respire de l'air pur à 10, 15, 20 atmosphères : tous deux sont, par ces procédés divers, menacés des mêmes accidents et de la même mort, de la mort par excès d'oxygène, d'un empoisonnement d'une espèce jusqu'ici inconnue.

Pas assez d'oxygène, en tension, ou trop d'oxygène, toute l'influence que les modifications barométriques exercent sur les animaux se résume en ces termes.

Telle est l'explication fort simple que nous donnent des expériences dans lesquelles nous avons considéré le milieu ambiant bien plus que l'animal. Mais cette tension trop faible ou trop forte de l'oxygène doit être étudiée maintenant, non-seulement dans sa mesure, mais dans ses conséquences prochaines : il faut examiner également avec plus de soin l'animal lui-même.

La première question dont je vais m'occuper maintenant est celle de la composition des gaz contenus dans le sang d'animaux soumis à diverses pressions.

CHAPITRE II

DES GAZ CONTENUS DANS LE SANG AUX DIVERSES PRESSIONS BAROMÉTRIQUES.

SOUS-CHAPITRE PREMIER

MÉTHODES OPÉRATOIRES ET CRITIQUE EXPÉRIMENTALE.

Je crois devoir, au début de ce chapitre, décrire les appareils employés pour l'extraction du gaz du sang, et indiquer avec quelques détails la manière dont je les mets en usage. Je placerai ici également l'indication des expériences critiques que j'ai faites, pour étudier le degré de précision que peuvent atteindre de pareilles recherches.

Le premier des instruments indispensables est la seringue à l'aide de laquelle on prend dans le vaisseau pour le porter dans l'appareil à extraction une quantité mesurée de sang.

Le modèle auquel je me suis arrêté après bien des tâtonnements est représenté dans la figure ci-contre.

Son corps est en verre épais, rodé et calibré, car sans cette précaution le verre éclate spontanément au moindre changement de température. Ce corps est pris et solidement mastiqué dans deux armatures de buffle ou d'acier, reliées l'une à l'autre par 4 fortes tiges d'acier.

Le piston, disposé de manière à ne pas tourner sur lui-même, est monté sur une tige munie d'un pas de vis particulier, qui, dans toute l'étendue de la course, fait seule-

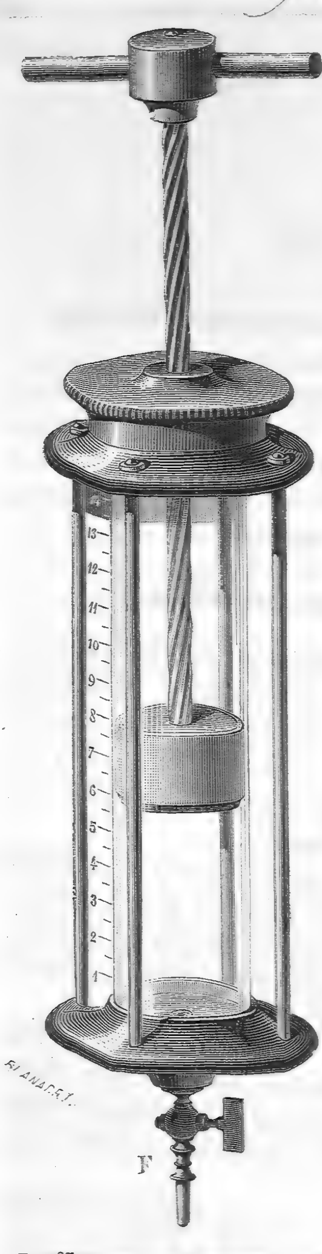


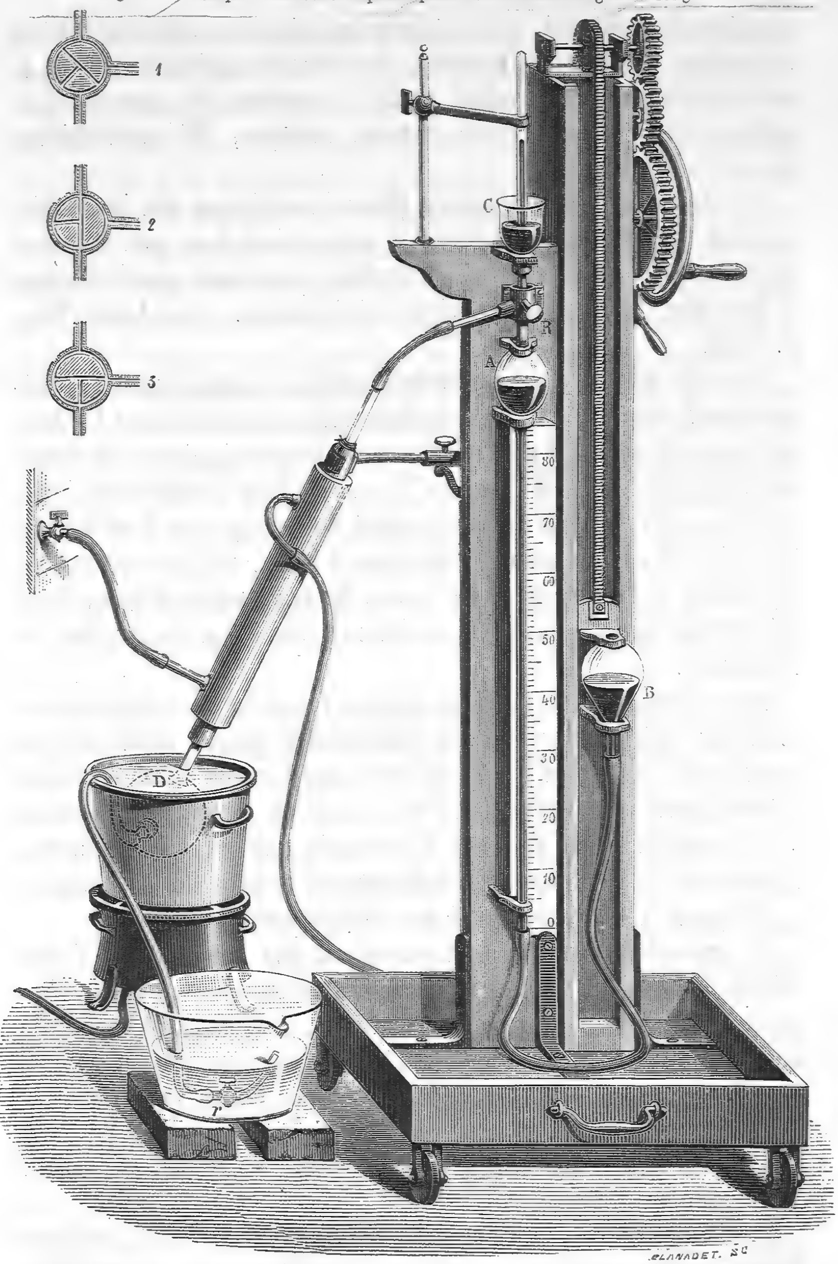
Fig. 25. — Seringue graduée, pour l'extraction du sang.

ment un tour et demi. La pièce supérieure, fermée à vis, peut être enlevée et ouvrir la seringue de manière à permettre d'en extraire complétement le piston pour les nettoyages. Cette pièce est percée d'un petit orifice, par lequel on introduit un peu d'eau qui formera fermeture hydraulique au-dessus du piston. Enfin, sur l'un des côtés, une règle divisée sert à connaître la quantité de sang qui a été extraite. A l'extrémité de la seringue, s'adapte à vis une pièce à robinet sur laquelle se peuvent monter des ajutages de formes diverses. La capacité totale est de 80 à 100 centimètres cubes.

Une semblable seringue, que j'ai décrite avec détails, parce que c'est le modèle auquel je me suis arrêté après bien des tâtonnements, comme étant le plus simple, le plus commode, le plus solide et le moins coûteux, tient parfaitement le vide. Cependant, par excès peut-être de précaution, je ne l'ai jamais employée qu'en introduisant de l'eau au-dessus du piston, et en immergeant dans l'eau jusqu'au-dessus de l'armature toute la partie inférieure : pas une bulle d'air n'y peut ainsi entrer.

Une canule étant placée dans

Fig. 24. — Pompe à mercure disposée pour l'extraction des gaz du sang.



A. Chambre barométrique. — B. Boule mobile, en communication avec A par caoutchouc et tube de verre. — C. Cuvette à mercure pour recueillir les gaz. — D. Ballon plongé dans eau chaude, où, le vide étant fait, on introduit le sang par le robinet *r*. Le gros tube de verre, qui part de D, est entouré d'un courant d'eau qui refroidit les gaz et forme fermeture hydraulique. — R. Robinet à trois voies pouvant fermer complètement la chambre barométrique (position 1), ou faisant communiquer A avec C (position 2) A avec D (position 3).

l'artère de l'animal, on y ajuste la pièce F et, en ouvrant la serre-fine qui ferme l'artère, le sang se précipite dans la seringue dont sa pression suffit à soulever le piston; j'en prends d'ordinaire, pour chaque analyse, 33 centimètres cubes.

Le sang extrait et contenu dans la seringue est immédiatement porté dans l'appareil à extraction des gaz. Celui-ci est constitué, dans son organe le plus important, par la pompe à mercure dont la description a été donnée plus haut (Voy. p. 530).

Au tube latéral que je recommande de faire disposer obliquement, comme le montre la figure 24, est attaché par l'intermédiaire d'un tube de caoutchouc à parois épaisses un large tube de verre long d'environ 75 cent., dont l'extrémité inférieure, rodée, pénètre à frottement dans le goulot d'un ballon tubulé D, d'une capacité d'environ 1 litre. De la tubulure de ce ballon part un tube de verre de très-petit calibre, deux fois recourbé sur lui-même, dont le bout est fermé par un robinet *r*.

Pour obtenir dans tout cet appareil une fermeture parfaite, tous les points d'union des différentes pièces sont plongés dans l'eau, de fortes ligatures avec des bandes de caoutchouc interceptent complétement l'air, mais en outre un manchon de zinc plein d'eau forme à l'union du tube et du ballon une fermeture hydraulique. Le robinet *r* et le tube de caoutchouc qu'il porte à son extrémité sont également immergés.

Le manchon de zinc est parcouru par un courant d'eau allant de bas en haut, et destiné à refroidir le tube de verre. Cette disposition, due à M. Gréhant, a l'avantage considérable d'arrêter ou du moins de diminuer considérablement la mousse coagulable qui s'élève du sang, sous l'influence du vide, mousse qui peut arriver jusqu'à la chambre de la pompe, se mêler au gaz extrait, et dont le moindre inconvénient est de salir tout l'appareil.

Pour faire le vide dans le système ci-dessus décrit, j'adapte d'abord au caoutchouc ajusté sur le robinet *r* un autre tube qui se rend à une machine pneumatique ordinaire. J'abrége

ainsi considérablement la manœuvre ; le vide est ensuite amené à l'état parfait à l'aide de la pompe à mercure, suivant les agissements précédemment décrits (page 532).

Cependant on n'arriverait pas au vide parfait, en laissant le système à la température ordinaire du laboratoire ; je me suis assuré de cela par des expériences très-simples, mais sur le détail desquelles il est inutile d'insister ici. Or, la présence d'une petite quantité d'air au début de l'expérience peut avoir des inconvénients. Pour la chasser complétement, je laisse entrer dans le ballon D, en ouvrant le robinet *r*, quelques centimètres cubes d'eau ; puis je chauffe le ballon jusqu'à ce que le bain-marie entre en ébullition ; en même temps, j'interromps le courant d'eau froide qui circulait dans le manchon de zinc. De cette façon, la vapeur d'eau très-chauffée qui s'échappe du ballon chasse, lorsqu'on fait manœuvrer la pompe, tout ce qui restait de gaz, et lorsque ensuite on diminue le feu et qu'on laisse passer le courant d'eau froide, on est arrivé au vide aussi parfait qu'il est nécessaire.

C'est alors qu'adaptant la seringue chargée de sang au tube de caoutchouc du robinet *r*, immergeant sa partie inférieure dans l'eau, et ouvrant le robinet, l'aspiration due au vide fait entrer le sang dans le ballon D ; je ferme alors le robinet et retire la seringue. Comme il reste une certaine quantité de sang dans le siphon et qu'il serait difficile d'en épuiser les gaz, je plonge le tube flexible dans un petit vase plein de mercure, et laisse monter celui-ci jusqu'au point où le tube se recourbe pour entrer dans le ballon.

Le sang arrivé dans le ballon D s'y trouve soumis à la température du bain-marie, que j'ai portée successivement de 75° à 100°. Actuellement, je fais toujours bouillir ce bain-marie ; je me suis trouvé très-bien de l'emploi de cette température élevée, et l'extraction des gaz a toujours été beaucoup plus rapide et plus complète que lorsque je me bornais, à l'exemple de mes devanciers, à maintenir le sang à la température du corps vivant, ou à peu près. Le seul inconvénient est d'augmenter ainsi la mousse ; mais, grâce à la lon-

gueur du tube de communication et au courant d'eau froide, il n'en entre que très-rarement dans la pompe : au reste, on évite aisément cette mousse par un jeu habile du robinet à trois voies ; mais ce sont là des tours de main qui ne se peuvent décrire aisément.

En introduisant de la sorte, comme je le faisais d'ordinaire, 33^{cc} de sang, l'extraction des gaz se fait en moyenne en trois coups de pompe ; j'ai vu quelquefois tout venir du premier coup, et, dans d'autres cas, après le troisième coup qui amène à peine deux ou trois centimètres cubes, j'ai pu en obtenir encore un ou deux en continuant la manœuvre : mais c'est là l'exception.

J'ai assez souvent introduit à l'avance dans le ballon D, non plus seulement quelques gouttes d'eau, comme il a été dit plus haut, mais 30 ou 40 centimètres cubes d'eau, que, bien entendu, je faisais bouillir et dont j'extrayais tous les gaz, avant d'introduire le sang. Ce procédé a l'avantage, en délayant le sang, de diminuer sa coagulabilité et d'empêcher la mousse qui en sort d'être persistante et de faire bouchon, comme cela arrive quelquefois, dans le tube DR; mais cette mousse est alors plus facile à entraîner par le coup de pompe, et s'élance jusqu'au haut du tube : c'est pour cela que j'ai conseillé de donner à celui-ci une inclinaison très-prononcée, à partir même du robinet, afin qu'elle retombe aisément au lieu de rester à l'angle des tubes.

J'avais fait un certain nombre d'expériences par ce procédé, et je m'étais, du reste, assuré, par voie comparative, qu'il ne présente, au point de vue de la qualité et de la quantité des gaz extraits, aucun inconvénient, lorsque je lus avec surprise, dans les comptes rendus de l'Académie des sciences[1], une note de MM. Estor et Saint-Pierre où la présence de l'eau est accusée d'apporter dans les extractions des différences d'une importance énorme.

Suivant les expérimentateurs de Montpellier, le mélange

[1] *Note sur les analyses du gaz du sang; influence de l'eau.* — Comptes-rendus, t. LXXIV, p. 330 ; 1872. Le mémoire est publié en entier dans le *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie*, t. VIII, p. 187-200 ; 1872.

d'eau avec le sang aurait pour conséquence de faciliter l'extraction de l'oxygène, au point que la quantité moyenne de ce gaz serait augmentée de 4 à 6^{cc} pour 100^{cc} de sang. S'il en était ainsi, il faudrait, d'abord, employer toujours ce mélange, et ensuite ne jamais comparer entre eux les résultats obtenus avec ou sans eau.

Malheureusement, MM. Estor et Saint-Pierre, au lieu de faire eux-mêmes des analyses comparatives faites simultanément avec un même sang, ont préféré, suivant une méthode qui paraît leur être familière, comparer les unes aux autres des analyses faites sur du sang d'animaux différents et dans des conditions tout à fait différentes. Une seule des expériences rapportées dans leur mémoire (expérience XVI) est faite sur un même sang, divisé en deux parts : l'une, traitée par l'oxyde de carbone, a donné 6,66 d'oxygène pour 100 vol. de sang ; l'autre, additionnée d'eau et portée à l'ébullition, a laissé dégager 27,72 volumes. Il suffit presque d'énoncer ces résultats pour prouver que l'une et l'autre analyse sont également mauvaises.

J'aurais pu me borner à renvoyer le lecteur aux expériences qui vont être citées et dans lesquelles souvent il a été ajouté de l'eau au sang, ce qui n'a rien changé au résultat. Mais, par excès de scrupule, je veux citer deux expériences qui ont été faites avec un soin scrupuleux, et dans le but de contrôler spécialement l'étrange assertion des physiologistes de Montpellier :

Expérience CLIV. — 15 janvier. Chien de moyenne taille, épuisé par des suppurations à la suite d'opérations nombreuses.

Tiré à la carotide 33^{cc} de sang qui sont immédiatement introduits dans la pompe. . . . . A

Aussitôt après, tiré encore 33^{cc} de sang ; mais dans la pompe avaient été introduits au préalable 50^{cc} d'eau, dont on avait ensuite épuisé les gaz par le vide et l'ébullition [1]. B

Le sang A contenait, pour 100 vol., 7,1 d'O.
— B — — 6,2 —

Expérience CLV. — 18 janvier. Chien de grande taille, intact.

[1] Les nombres qui expriment les volumes des gaz du sang ont toujours été ramenés à la température 0° et à la pression 76^{c}.

Deux pompes à extraction des gaz ont été préparées ; dans l'une d'elles ont été introduits, puis épuisés, 33cc d'eau.

On tire à l'artère fémorale environ 70cc de sang ; 33cc sont introduits dans la pompe (A), 33cc dans la seconde où est l'eau (B).

Le sang A contient, pour 100 vol., 19,7 d'O. et 45,0 de CO^2.
— B — — 19,8 — et 44,2 —

On voit que, soit qu'il s'agisse d'un sang extrêmement pauvre en oxygène, soit qu'il s'agisse d'un sang normal, l'addition d'eau n'a modifié en rien la quantité d'oxygène extraite du sang.

Au reste, la prétendue constatation de cette différence avait pour but premier d'expliquer l'étrange persévérance apportée par MM. Estor et Saint-Pierre[1] à soutenir qu'il y a, au point de vue de la composition en oxygène, une différence considérable entre le sang de la carotide et celui de la fémorale : différence énorme, selon eux, puisque le sang de la carotide contenant 21,06 vol. d'oxygène, celui de la fémorale n'en contiendrait que 7,62 (p. 310). Cette différence leur sert à appuyer une théorie à eux appartenant sur la combustion presque instantanée des matériaux du sang au sortir du poumon. Je ne serais certes pas revenu sur ce sujet que je croyais avoir précédemment épuisé, sans les nouvelles communications de MM. Estor et Saint-Pierre. Mais il faut bien que j'en parle, puisqu'il m'est arrivé, dans quelques-unes des expériences qu'on trouvera ci-dessous rapportées, de comparer des analyses du sang de la carotide à des analyses du sang de la fémorale.

Je répéterai donc ici ce que j'ai déjà dit ailleurs[2] : MM. Estor et Saint-Pierre n'ont fait aucune expérience comparative directe ; s'ils en avaient fait une seule, ils auraient vu combien leur assertion est erronée. Ils ont préféré chercher dans les livres, et comparer des résultats obtenus par M. Claude Bernard à différentes époques, sur des chiens placés dans les conditions générales les plus variées, en employant l'oxyde de car-

[1] *Du siége des combustions respiratoires.* — *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie*, t. II, p. 302-322 ; 1865.
[2] *Leçons*, etc., p. 119.

bone comme moyen d'extraire l'oxygène, avec d'autres dus à plusieurs physiologistes allemands qui se servaient de pompes à mercure de divers modèles, et opéraient tantôt sur des chiens, tantôt sur des moutons. J'ai montré avec détails, dans l'ouvrage plus haut cité, ce qu'une pareille méthode a de profondément vicieux, si tant est qu'on puisse donner le nom de méthode à cette façon de procéder. Je pourrais aujourd'hui mettre en avant le résultat de mes propres expériences, faites simultanément sur le même animal et avec le même appareil. Mais je préfère invoquer l'appui de deux expérimentateurs qui ont étudié ces questions avec une tendance à la précision que je considère comme exagérée, mais qui est un sûr garant du soin apporté dans les expériences. Or, MM. Mathieu et Urbain[1], cherchant s'il existe des différences entre le sang des diverses artères, sont arrivés aux résultats suivants, relativement à la carotide et à la fémorale (p. 192) :

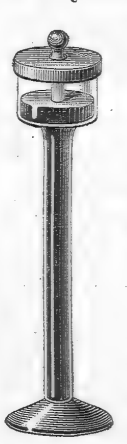
Carotide..	20,45	20,99	15,06	13,25	12,75	18,25	15,00	15,75	14,93
Fémorale.	18,03	17,69	13,81	13,25	13,50	18,00	15,75	15,75	14,48

On voit, comme les auteurs le disent avec raison, que s'il y a une légère différence en faveur du sang de la carotide, elle est infiniment moins forte que ne l'affirmaient MM. Estor et Saint-Pierre. Ajoutons que, d'après les expériences de MM. Mathieu et Urbain, la différence s'accentuerait beaucoup lorsque, au lieu de prendre des artères qui ont à peu près le même calibre, on examine comparativement le sang de la carotide et celui d'une artère de petites dimensions, qu'elle soit voisine ou éloignée du cœur. Mais nous ne pouvons insister sur ces faits ; il nous suffit, pour notre but actuel, de conclure que, s'il est préférable de tirer toujours le sang à la même artère, il n'y a pas d'inconvénient sérieux à prendre successivement la carotide et la fémorale, chez le même animal, lorsqu'on s'y trouve forcé.

Du reste, avant de nous prononcer sur l'importance des diverses causes d'erreurs qui peuvent provenir des causes phy-

[1] *Des gaz du sang. Archives de Physiologie,* t. IV, p. 5-26, 190-203, 304-318, 447-469, 573-587, 710-731 ; 1871.

siologiques, il serait bon de nous faire d'abord une juste idée de l'exactitude à laquelle on peut espérer d'arriver en employant l'appareil que nous avons décrit. Voici le vide fait, et nous apportons au robinet *r* la seringue contenant, par exemple, 50^{cc} de sang. Disons d'abord qu'il est impossible, vu le calibre de la seringue, de déterminer très-exactement cette quantité; nous serons au-dessous de la vérité en prenant comme erreurs possibles, soit 49^{cc},8, soit 50^{cc},2. De plus, il restera dans le caoutchouc et le robinet *r* au moins 0^{cc},5 de sang qui échappera à l'analyse : la vérité est donc que, lorsque nous disons avoir opéré sur 50^{cc}, nous avons réellement introduit dans l'appareil 49^{cc},3 ou 49^{cc},7. Faisons maintenant l'extraction, et supposons-la parfaitement complète : au moins nous n'avons aucun moyen de mesurer le résidu très-faible, à coup sûr, qui peut rester dans l'appareil. Nous obtiendrons en moyenne 30^{cc} de gaz qui devront être recueillis dans deux tubes différents, si nous voulons employer des tubes étroits pour que la visée n'entraîne pas une trop forte cause d'erreur. Dans la pompe, en même temps que les gaz, il a pénétré de la vapeur d'eau qui s'est condensée, et chacun de nos tubes en contient toujours 1 ou 2 cent. cubes. Combien cette eau a-t-elle absorbé d'acide carbonique en dissolution? Nous ne le savons pas. Ce n'est pas tout : le gaz étant à une température élevée, il faut, avant de le mesurer, immerger complétement les tubes dans de petites cuves à mercure en verre, étroites et profondes, construites exprès (fig. 25); pendant ce temps, et sous pression, il doit se dissoudre une nouvelle quantité d'acide carbonique. Peut-être pouvons-nous, pour chaque tube, estimer à 0^{cc},2 ou 0^{cc},3 la quantité totale de ce gaz dont il ne pourra être tenu compte.


Fig. 25. — Petite cuve à mercure.

Maintenant nous avons deux tubes, dont l'un contient, je suppose, 20^{cc}, l'autre 10^{cc}; si nous nous reportons à ce qui a été dit page 546 sur les erreurs possibles d'analyse par la potasse et l'acide pyrogallique, nous verrons que nous ne

pouvons affirmer l'exactitude de la composition qu'entre des limites analogues à celles-ci :

	PREMIER TUBE cc	SECOND TUBE cc
Acide carbonique. .	soit. . . 12	soit. . . 7
	soit. . . 11,9	soit. . . 6,9
Oxygène.	soit. . . 6,9	soit. . . 2,5
	soit. . . 7	soit. . . 2,6

Ce qui peut, suivant les combinaisons, nous donner les résultats totaux extrêmes que voici :

Acide carbonique.	19 ou 18,8
Oxygène.	9,6 ou 9,4

Ajoutons à ceci la quantité d'acide carbonique dissimulée dans l'eau de condensation, et la mesure directe peut, pour ce gaz, nous donner un résultat au-dessous de la vérité, de $0^{cc},4$ à $0^{cc},6$.

Il faut maintenant, pour avoir la quantité totale du gaz contenu dans 100^{cc} de sang, nombre dont on se sert usuellement, doubler tous ces chiffres ; en telle sorte que, malgré les plus grandes précautions, et en supposant l'extraction des gaz parfaite, il est impossible d'affirmer que le nombre obtenu n'est pas trop fort ou trop faible pour l'oxygène et l'azote de 2 ou 3 dixièmes, et pour l'acide carbonique de près d'une unité.

On peut juger d'après cela de la valeur de ces deuxièmes et troisièmes décimales, que les tableaux d'analyses étalent presque toujours à la suite de leurs nombres entiers. Je me porte fort de cette vérité que, si les décimales sont exactes au point de vue arithmétique, le chiffre même des unités est faux au point de vue chimique, car aux diverses causes d'erreur énumérées plus haut, il convient d'ajouter l'imperfection des appareils dont se sont servis la plupart des opérateurs.

Et que dire maintenant du point de vue physiologique? L'analyse dont nous venons de parler nous donne, pour un cas déterminé, un résultat absolu, sauf erreur. Mais combien les choses vont se compliquer, si nous voulons la comparer à une autre analyse faite par le même expérimentateur, avec le

même instrument, sur un autre animal appartenant cependant à la même espèce! J'ai indiqué autrefois[1] les différences que peut, au point de vue de la richesse en oxygène, présenter le sang d'un animal placé dans des conditions différentes, comme en digestion et à jeun, etc. Depuis, MM. Mathieu et Urbain, reprenant avec la pompe à gaz des expériences que j'avais faites simplement avec l'oxyde de carbone, et qui, par conséquent, ne touchaient qu'à l'oxygène, ont multiplié et varié les conditions dans lesquelles peuvent être placées les animaux. Leur travail qui développe, confirme ou rectifie mes anciens essais, a montré que la proportion absolue et relative des gaz du sang est sujette à de nombreuses variations.

Mais je veux me borner pour le moment à l'étude de celles de ces variations qui peuvent être importantes à considérer pour le sujet dont je m'occupe actuellement.

Or, il s'agit ici d'expériences se faisant dans le laps de deux ou trois heures au plus. Les seules influences qui puissent agir dans ce cas sont : 1° les saignées antérieures; 2° le nombre des respirations de l'animal; 3° son état de repos ou d'agitation.

MM. Mathieu et Urbain (*loc. cit.*, p. 14 et suiv.) attachent beaucoup d'importance aux saignées antérieures. Selon eux, il suffirait d'extraire à un chien 20^{cc} de sang artériel pour trouver dans la nouvelle saignée de 20^{cc} notablement moins d'O et de CO^2; les saignées successives augmenteraient ces différences. En moyenne, pour les saignées de 20^{cc} faites à une heure et demie d'intervalle, on aurait des diminutions totales de $1^{cc},25$; — $2^{cc},25$; — $3^{cc},00$; — $3^{cc},50$; — $3^{cc},75$. Après une saignée de 60^{cc}, la différence serait en moyenne de $2^{cc},50$, et de $3^{cc},91$, après une saignée de 150^{cc}.

Ces modifications seraient dues principalement, selon eux, à la diminution dans la tension vasculaire; elles ne se remarqueraient pas, en effet, lorsqu'après la première saignée on a injecté dans les vaisseaux une quantité d'eau égale à la quantité de sang enlevée.

[1] *Leçons*, etc., p. 130 et suiv.

L'acide carbonique varierait, sous l'influence des saignées successives, dans le même sens et suivant une proportion plus considérable que l'oxygène.

Quant à moi, je n'ai jamais remarqué d'aussi importantes différences entre la richesse gazeuse du sang tiré en plusieurs fois des vaisseaux. Souvent même les nombres obtenus sont restés absolument identiques, lorsque l'animal est demeuré au repos. C'est ce qui est arrivé, par exemple, dans l'expérience suivante :

Expérience CLVI. — 18 juillet. Grand chien de berger.
A 2h, tiré 44cc de sang à la fémorale; animal parfaitement tranquille (A).
Tiré ensuite 43cc de sang à la même artère. . . . . (B).
A 3h et demie, tiré 42cc,5 à la même artère. . . . . (C).

Le sang A contient, pour 100 vol. :	O 21,4 ;	CO^2 39,5.
— B	—	21,2 ;	— 40,1.
— C	—	21,5 ;	— 38,6.

Les nombreuses expériences dont le récit sera fait dans le présent chapitre montrent fréquemment que les saignées successives ne donnent pas des résultats aussi dissemblables qu'on pourrait le croire d'après les conclusions de MM. Urbain et Mathieu.

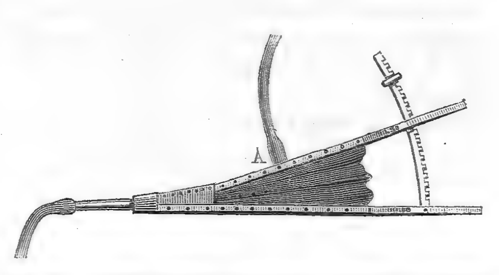


Fig. 26. — Soufflet pour la respiration artificielle (A, douille à soupape qui permet d'employer un gaz quelconque).

Pour étudier l'influence du nombre des respirations en l'isolant de celle des mouvements généraux du corps, qui s'y mêle toujours, j'ai empoisonné des animaux par le curare, et, lorsqu'ils étaient complétement paralysés, j'ai pratiqué la respiration artificielle, à l'aide d'un soufflet introduit dans la trachée.

Ce soufflet (fig. 26) porte une bonne soupape aspiratrice A, munie d'une douille permettant d'insuffler dans les poumons un gaz quelconque; une crémaillère graduée, portant un curseur contre lequel vient s'arrêter le mouvement de la valve mobile. La position variable du curseur détermine

la quantité d'air que l'on injecte. Rien de plus facile, avec cet instrument, que de mesurer exactement l'amplitude et le nombre des respirations artificielles. La buse étant introduite dans la trachée, qu'elle n'oblitère qu'imparfaitement, il suffit du petit espace qu'elle laisse entre elle et les parois pour que l'expiration se fasse aisément; au reste, sous ce rapport, les conditions sont toujours semblables.

J'ai également employé l'appareil construit sur les indications de M. Gréhant, et que met en mouvement, dans mon laboratoire, une petite machine à eau.

Or, voici ce qu'a donné une expérience, prise comme exemple :

Expérience CLVII. — 19 février. Chien pesant 18 kilog.

A 4^h 5^m, dose mortelle de curare sous la peau; tombe à 4^h 25^m; ouvert la trachée et fait la respiration artificielle, le soufflet débitant 350^{cc}.

A 4^h 40^m, on régularise la respiration artificielle à 16 par minute; le pouls est à 90. A 4^h 50^m, on tire à l'artère fémorale 72^{cc} de sang. . (A).

Aussitôt après, porté la respiration à 70 par minute; le pouls monte à 140; la température rectale est 38°,5. Au bout de 10^m, on prend 72^{cc} de sang à la même artère. . . . . (B).

On ajuste la douille du soufflet à un sac plein d'acide carbonique; après 15^m de respiration artificielle, le cœur s'arrête. On prend aussitôt 53^{cc} de sang dans le cœur gauche avec une sonde enfoncée par la carotide gauche. . . . . (C).

La température rectale est alors 36°.

Le sang A contient,	pour 100 vol. :	O 19,7;	CO^2 36,7.
— B	—	—	20,7;	— 30,1.
— C	—	—	5,2;	— 90,2.

On voit que la rapidité des mouvements respiratoires, ou plus généralement, que le passage par les poumons, dans un temps donné, d'une plus grande quantité d'air, a pour double résultat : d'augmenter la proportion de l'oxygène du sang, de diminuer la proportion d'acide carbonique, l'augmentation de l'oxygène étant beaucoup moins considérable que la diminution de l'acide carbonique.

Afin d'étudier l'influence de l'état de repos ou des contractions musculaires de l'animal, et de l'isoler de toutes les circonstances d'un autre ordre, je tuais un chien par section du

bulbe, et pratiquais ensuite la respiration artificielle d'une manière régulière. Au bout de quelque temps, l'animal étant naturellement dans l'immobilité complète, je tirais du sang; puis, à l'aide d'un fort courant induit traversant le corps de la bouche à l'anus, j'obtenais des mouvements généraux énergiques plus ou moins nombreux, après lesquels je tirais à nouveau du sang.

Voici les résultats d'une expérience ainsi conduite :

Expérience CLVIII. — 12 novembre. Chien vigoureux pesant 15 kil. Bulbe coupé; respiration artificielle réglée à 15 par minute, pendant 5 minutes. Tiré alors 25^{cc} de sang à la carotide. . . . . (A).

On excite alors la moëlle épinière, du bulbe à l'anus, par de forts courants induits, qui déterminent des convulsions générales, surtout dans les membres postérieurs. La respiration artificielle est continuée avec le même rhythme. Après 5 minutes d'excitation, on tire 25^{cc} de sang carotidien.. . . . . (B).

Le sang A	contient, pour 100 vol.	O 26,6;	CO^2 31,2.
B	—	—	18,2;	— 28,8.

Mais il faut bien reconnaître que, dans l'état ordinaire et naturel des choses, les deux phénomènes que nous avons artificiellement séparés se combinent, se mêlent et surajoutent leurs effets qui alors se contrebalancent. Dans l'immense majorité des cas, en effet, un animal qui s'agite respire avec plus de fréquence et d'ampleur, et, inversement, le repos s'accompagne d'une respiration plus calme et plus lente :

Expérience CLIX. — 24 janvier. Grand chien de chasse. Fémorale gauche.

On prend 75^{cc} de sang; l'analyse est perdue, par suite d'accident.

On reprend alors 74^{cc}; l'animal, attaché depuis longtemps, est resté parfaitement tranquille (A); au bout d'une heure, l'animal, excité, s'agite violemment, en poussant de grands cris, et cela pendant quelques minutes, après lesquelles on reprend 76^{cc} de sang (B).

Le sang A	contient pour 100 vol. :	O 18,6;	CO^2 37,0.
— B	—	—	19,4;	— 35,2.

Expérience CLX. — 5 mars. Chien de petite taille, ayant les récurrents coupés depuis le 1er mars, mais allant bien. Artère fémorale.

L'animal étant très-calme, on tire 40^{cc} de sang (A); puis on le fait agiter en lui plaçant un peu d'ammoniaque sous le nez, et on tire même quantité de sang (B).

Le sang A contient, pour 100 vol. : O 11,7; CO^2 33,6.
— B — — 12,4; — 32,7.

On l'empoisonne alors par le curare; l'excitation d'un sciatique fait monter la pression cardiaque de 2 à 4^{c}, même après la section des deux pneumogastriques. Le bout périphérique de ceux-ci n'agissant plus sur le cœur, le bout central, excité, augmente la pression du sang. Après avoir coupé transversalement la moitié droite de la moelle lombaire, on obtient une augmentation de pression par l'excition du sciatique droit; le gauche donne un résultat douteux.

Voilà deux expériences qui indiquent que, dans la plupart des cas, il n'y a pas à se préoccuper beaucoup des modifications dans la manière d'être de l'animal aux divers moments dc l'expérience. Les analyses comparatives montrent que pour l'oxygène les causes d'erreur arrivent à peine à l'unité, et que pour l'acide carbonique elles ne dépassent guère deux unités.

Mais dans certaines circonstances exceptionnelles, les différences peuvent atteindre des valeurs beaucoup plus élevées. Cela arrive quelquefois, par exemple, lorsqu'on ouvre la trachée d'un animal et qu'on y place une canule. Tous les physiologistes ont remarqué que, dans ces conditions, les animaux sont souvent pris d'une anhélation extraordinaire, qui cesse habituellement au bout de quelques minutes. Or, si pendant cette période on tire du sang, on trouve que sa composition gazeuse est fort différente de celle qu'il présentait auparavant.

Je citerai comme exemples les deux faits suivants, les plus remarquables que j'aie rencontrés :

Expérience CLXI. — 20 décembre. Chien vigoureux, pesant 16^{k} 5.

A 3^{h} 55^{m}, je tire à la carotide 33^{cc} de sang, qui est assez noir. . . (A).

A 4^{h}, je place dans la trachée un tube; les respirations deviennent extrêmement accélérées pendant 5 minutes; puis le calme revient et peu après accélération nouvelle, qui cesse à 4^{h} 10^{m}, au moment même où l'on tire de nouveau 33^{cc} de sang, qui est évidemment moins noir. . . . . (B).

Le sang A contient, pour 100 vol. : O 15,1; CO^2 40,8
— B — — 20,3; — 24,0

EXPÉRIENCE CLXII. — 24 janvier. Chien boule-dogue.

A 2h 30m, j'extrais à la carotide 32cc de sang, l'animal respirant par les voies naturelles.. . . . . (A).

J'ouvre la trachée, pour y placer un tube; les respirations deviennent extraordinairement précipitées; au bout de cinq à six minutes de ce rhythme, je tire 33cc de sang, notablement plus rouge. . . . . . . (B).

Le sang A contient, pour 100 vol. :	O 16,0 ;	CO^2	41,5
— B — —	23,4 ;	—	15,2

Mais, je le répète, ceci est un extrême; rien de comparable, à beaucoup près, ne s'est présenté chez des animaux respirant par les voies naturelles. Un grand nombre d'expériences me permettent d'affirmer que les circonstances dépendantes de la manière d'être de l'animal, sans être négligeables, ne sont pas telles qu'on ne puisse conclure. Sans doute, je n'ai pu toujours me mettre à l'abri de leur intervention ; mais lorsque celle-ci était très manifeste, j'ai abandonné l'expérience.

En dernier lieu, sans insister sur les différences que peut présenter le sang d'un chien, suivant que l'animal est à jeun ou en digestion de telle ou telle espèce d'aliments, je dirai que tous mes chiens avaient mangé vers huit heures du matin de la pâtée peu riche en viande; les expériences étaient faites généralement de deux à six heures.

On voit que, en définitive, les causes d'erreur que renferment nos analyses, et qui tiennent tant aux causes d'ordre chimique qu'à celles d'ordre physiologique, sont, environ, de une unité pour l'oxygène, de trois ou quatre unités pour l'acide carbonique. Je maintiens qu'on ne peut aller, dans la pratique, plus loin comme exactitude, à moins de prendre un véritable leurre pour la réalité.

SOUS-CHAPITRE II

DES GAZ DU SANG SOUS DES PRESSIONS INFÉRIEURES A CELLE D'UNE ATMOSPHÈRE.

§ 1er. — Dispositif des expériences.

L'extraction du sang des vaisseaux d'un animal soumis à l'influence de la diminution de pression n'était pas un problème sans difficultés.

L'appareil dont je disposais, et dont je me suis servi dans mes recherches pour la diminution de pression, est composé de deux vastes chambres cylindriques (fig. 27) qui peuvent être isolées l'une de l'autre par une porte de communication. Ces chambres mesurent 2 mètres de hauteur et 1 mètre de diamètre, ce qui leur donne une capacité d'environ $1^{mc},550$: je dis environ à cause du dôme convexe qui les revêt. Elles sont convenablement éclairées au moyen de hublots de verre qu'on voit dans la figure. Les portes s'ouvrant en dehors et reposant sur des bourrelets de caoutchouc déterminent une fermeture assez exacte, la pression atmosphérique tendant à les appliquer d'autant plus fortement sur ces bourrelets que la diminution de pression est plus considérable en dedans. Un manomètre extérieur, sorte de tube barométrique dont la chambre communique avec l'un des deux grands réservoirs, indique immédiatement la valeur de la dépression intérieure : des thermomètres traversent la paroi.

La diminution de pression est obtenue au moyen d'une pompe qui était mue, dans le principe, par une petite machine à vapeur, comme l'indique la figure. J'ai remplacé celle-ci par un moteur à gaz du système Lenoir, machine infiniment plus commode à manier dans un laboratoire, et plus avantageuse pour les travaux qu'il faut entreprendre

et quitter suivant des circonstances dont on n'est pas le maître.

Je puis arriver ainsi à faire diminuer la pression de 20^c en 5^m, de 40^c en 10^m. J'atteins assez facilement, en 20^m, la pres-

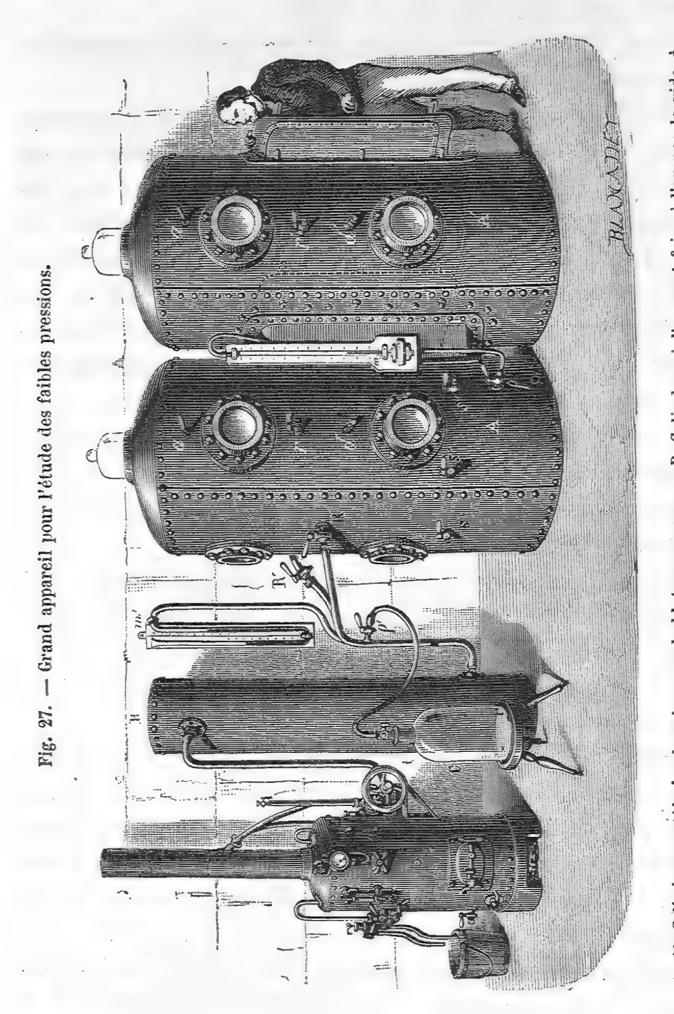


Fig. 27. — Grand appareil pour l'étude des faibles pressions.

A, A'. Cylindres en tôle boulonnée, avec hublots en verre. — B. Cylindre où l'on peut faire à l'avance le vide à 5 centimètres, afin d'obtenir une rapide diminution dans les grands cylindres. — C. Grande cloche de verre où peut être fait, par l'intermédiaire du cylindre B, un vide instantané. — R. R'. Robinets qui communiquent chacun avec l'un des cylindres A et A', que sépare une porte intérieure, marquée en pointillé. — *p*. Robinet de communication avec C; *r*, *r'*, *d*, *d'*; *s*, *s'*, *s''*, ouvertures et robinets pour prendre de l'air des cylindres, extraire le sang, etc. — *a*, *a'*. Thermomètres. — *m*, *m'*. Manomètres.

sion de 25 centimètres; mais j'ai eu la plus grande peine à descendre au-dessous, et je n'ai pu dépasser celle de 17 centimètres.

On voit sur la figure un cylindre indépendant B. Je m'en

servais comme d'un réservoir de vide, si l'on peut ainsi parler, dans certaines expériences. Enfin, le tube qui, dans la figure, communique avec une cloche de verre C, est celui que j'adaptai plus tard à la table à plaques pneumatiques représentée figure 15.

L'extraction du sang d'un chien placé dans un semblable appareil est une entreprise assez délicate.

L'animal est d'abord solidement attaché sur le dos, comme le montre la figure 28, aux montants d'une sorte de cage en bois solide, courbée de manière à pouvoir s'adapter exactement par son bord convexe à la concavité du cylindre, et pouvant y être fixée au moyen de trous qui s'emmanchent dans les crochets de forts pitons vissés aux flancs de ce cylindre. La tête de l'animal est prise dans une sorte de muselière mobile, qui permet de tendre son cou suivant les besoins de l'expérience, et de le maintenir parfaitement immobile. Les pattes antérieures sont attachées aux barreaux de la cage, et pour les pattes postérieures, deux barreaux montés sur des coulisses en arc de cercle peuvent être éloignés plus ou moins suivant la taille de l'animal.

Dans cette situation, on peut tirer le sang soit à l'une des artères carotides, soit à l'une des fémorales. Les carotides sont plus commodes et par leur calibre et par leur proximité de la paroi du cylindre, et c'est presque toujours d'elles que je me suis servi.

Cette paroi, en face de l'endroit où se trouve amenée et mise à découvert l'artère, est percée de plusieurs trous, à la façon d'une pomme d'arrosoir; c'est par l'un de ces trous que passera la sonde destinée à extraire du sang; les autres trous seront fermés à l'aide d'une poignée de cire à modeler fortement appliquée sur eux.

Et maintenant comment extraire le sang? Il est, dans l'artère, soumis à une pression équivalente à environ 15 à 18 centimètres de mercure, qui en rend la sortie très-facile quand on agit à la pression normale. Mais l'animal est placé dans un appareil où la pression va être diminuée, et nous allons faire communiquer son artère avec le dehors. Il est

bien évident que, lorsque la pression sera abaissée de 15 à 18 centimètres, le sang n'aura plus aucune tendance à sortir

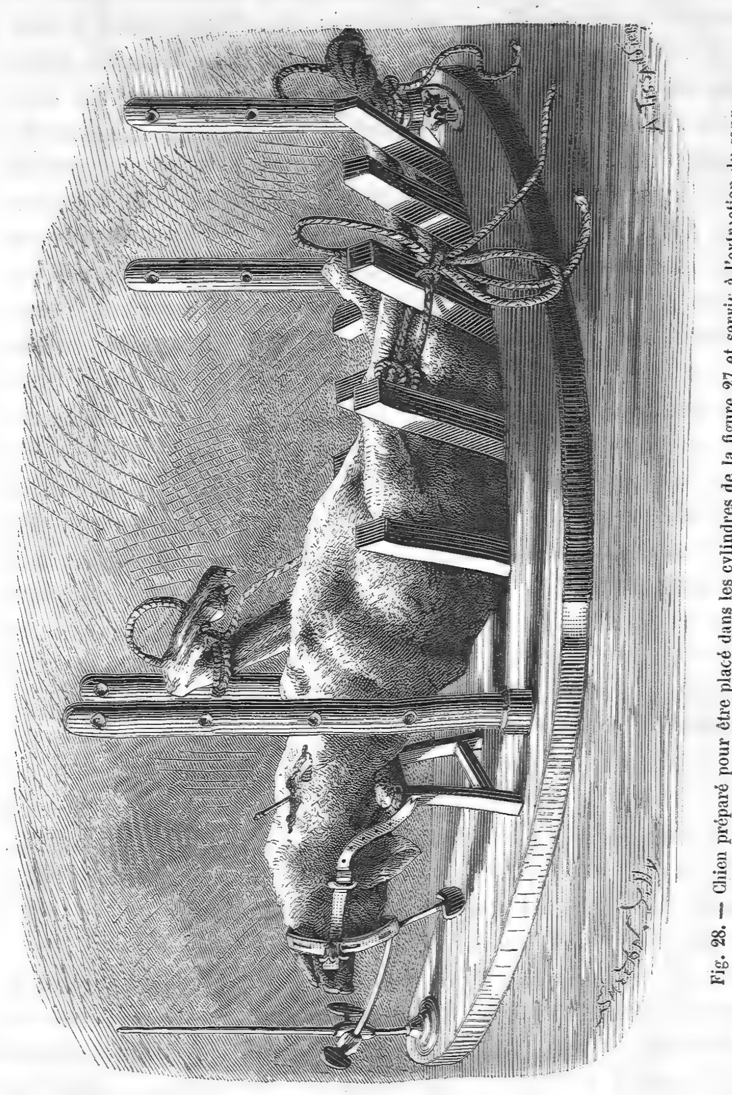


Fig. 28. — Chien préparé pour être placé dans les cylindres de la figure 27 et servir à l'extraction du sang sous pression diminuée.

du vaisseau, et que lorsque la diminution sera plus forte encore, l'air du dehors tendra à se précipiter dans l'artère

de l'animal, et de là à se répandre dans tout l'appareil circulatoire.

C'est là qu'est le danger et là que gît la difficulté. Pour le conjurer et le résoudre, je me servis (fig. 29) d'abord d'une sonde A bifurquée à son extrémité libre, dans laquelle glissait un mandrin terminé par une olive. Celle-ci était disposée de manière à pouvoir oblitérer exactement l'orifice de la sonde placée dans l'artère de l'animal. Lorsqu'on voulait extraire le sang, on tirait le mandrin jusqu'à ce que l'olive arrivât dans la région de la bifurcation. Pendant tout ce temps, la cavité de la sonde était parfaitement fermée, le mandrin glissant à frottement dur dans un bouchon percé de caoutchouc qu'une tête *a* assujettissait fortement. Alors, adaptant à l'orifice *a'*, à l'aide d'un tube de caoutchouc à parois épaisses, la seringue de la figure 23, et ouvrant le robinet, on pouvait sans danger aspirer le sang.

Mais, malgré toutes les précautions prises, il m'est arrivé des accidents consécutifs à l'entrée d'une certaine quantité d'air. Il suffit, en effet, d'un orifice microscopique pour laisser entrer quelques bulles, et celles-ci, arrivant au cœur gauche et lancées de là dans les artères, peuvent, comme on le verra, occasionner des troubles très-graves. Quelquefois même, la quantité d'air ainsi introduite a été suffisante pour entraîner une mort immédiate.

Je fis alors fabriquer une autre sonde, tout entière métallique, formée de deux pièces réunies en *b*, et dont la figure B donne une idée suffisante. J'eus encore des échecs, et j'en arrivai à une disposition figurée en C qui m'a donné d'excellents résultats, et qui, comme cela arrive souvent, est la plus simple de toutes.

L'expérience se fait de la manière suivante. La carotide de l'animal ayant été mise à découvert et liée à son extrémité supérieure, j'accroche aux parois de l'un des compartiments de l'appareil le cadre qui supporte le chien. L'opérateur entre en même temps dans le cylindre, fait passer par l'un des trous dont la paroi est criblée à cet endroit à la façon d'une pomme d'arrosoir la serre-fine D, dont le long manche *d*

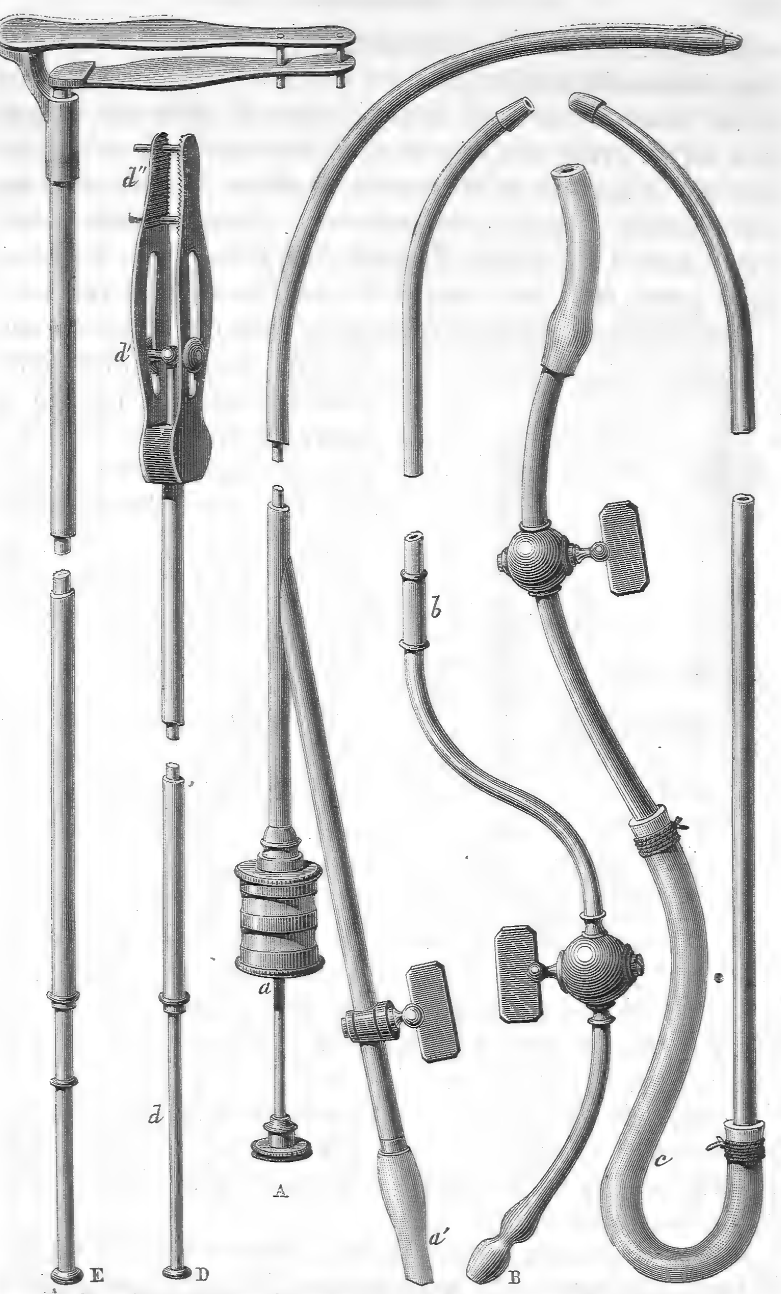


Fig. 29. — Diverses formes de sondes A, B, C, et de serres-fines D, E, pour l'extraction du sang sous diminution de pression.

reste à l'extérieur. Écartant alors les deux mors de la serre-fine, de manière à faire sortir les petits tenons de leurs trous, il fait passer la carotide dans l'espace d'', d'où elle ne peut plus sortir, grâce aux tenons; le levier mobile *d*, mû du dehors par le manche *d*, lui permet de serrer l'artère aussi bas que possible. Il ouvre alors celle-ci, y place la sonde métallique, dont il fait passer l'extrémité à travers l'un des trous de la paroi. On y fixe ensuite le caoutchouc et le robinet.

Les cylindres fermés, la dépression obtenue, lorsqu'on veut tirer du sang, on dispose les choses comme le montre la figure 30. On ouvre la serre-fine, on applique la seringue dont le piston a été surmonté d'une couche d'eau, et on aspire. Tous les raccords étant noyés dans l'eau, il ne peut arriver d'accidents.

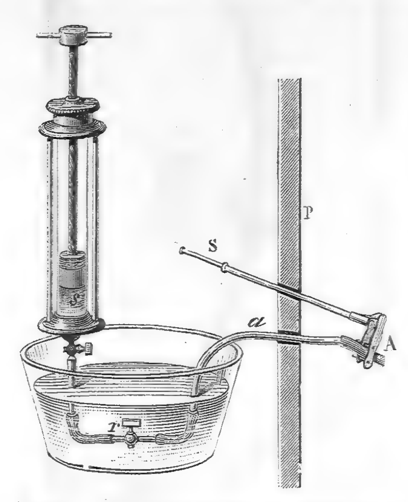


Fig. 30. — Extraction du sang d'un animal placé sous diminution de pression : A artère; P paroi de l'appareil; S serre-fine; *a* sonde placée dans l'artère; *s* seringue aspirant le sang (son armature inférieure doit plonger tout entière dans l'eau).

Mais après l'extraction il reste dans la sonde un long caillot qui, le plus souvent, s'oppose à une extraction nouvelle. C'est pour parer à cet inconvénient que j'avais imaginé le mandrin de la sonde A, qui refoulait le sang dans l'animal; seulement, ainsi que je l'ai dit, je ne pouvais être sûr de l'oblitération. Je dois ajouter que, lorsque les extractions n'étaient pas trop éloignées l'une de l'autre, il m'est arrivé de pouvoir aspirer d'un coup de seringue le caillot encore diffluent. D'autres fois, immédiatement après avoir tiré du sang, j'injectais dans la sonde un peu de solution de carbonate de soude, pour empêcher la coagulation.

Je tirais ainsi, comme je l'ai dit, à chaque fois, de 30 à 40^{cc} de sang. J'attendais que la dépression fût maintenue pendant quelques minutes pour faire l'extraction. Le sang de la pres-

sion normale était quelquefois pris à l'avance; mais la tendance à la coagulation, qui résultait de cette pratique, a fait que le plus souvent je l'ai pris au retour. J'avais soin alors d'attendre un temps assez long. Le récit des expériences ainsi conduites indiquera du reste ces détails.

§ 2. — Expériences.

Expérience CLXIII.— 22 juin. Pression 76c,4 ; temp. 25°. Chien de grande taille, auquel on a fait la veille diverses opérations : ne paraît pas malade.

Tiré à l'artère fémorale 46cc de sang, à la pression normale ; sang assez rouge . . . . A.

Mis dans le grand appareil ; amené en une demi-heure à 45c de diminution ; pression réelle 31c,4 ; après 10m, tiré à la carotide 46cc,5 de sang ; sang notablement moins rouge. . . . . B.

Le sang A (76c,4) contient, pour 100 vol. :	O	18,8 ;	CO^2	39,7
— B (31c,4) — —		12,0 ;	—	31,0

Il a ainsi disparu, à 31c,4 de pression, 36,2 pour 100 de l'oxygène qui existait à la pression normale, et 21,9 de l'acide carbonique.

Expérience CLXIV. — 24 juin. Pression 76c ; temp. 21°. Chien de grande taille.

Pression normale : Tiré à l'artère fémorale 46cc de sang, bien rouge. A.

Amené en trois quarts d'heure environ à 54c de diminution (22c de pression). Tiré à la même artère 40cc de sang, très-noir. . . . . B.

Le sang A (76c) contient, pour 100 vol. :	O	21,5 ;	CO^2	41,9
— B (22c) — —		10,7 ;	—	22,0

Il a disparu 50 pour 100 de l'oxygène, et 47,5 de l'acide carbonique primitif.

Expérience CLXV. — 28 juin. Pression 76c ; temp. 21°,8. Chien de l'expérience précédente, bien remis, vigoureux.

En liant, par les préparatifs, la carotide gauche, la fémorale liée trois jours avant s'ouvre, et le sang en sort : l'animal perd ainsi environ 50cc de sang.

Mis ensuite dans l'appareil, la pression est amenée en 5m à 19c de diminution (pression réelle 57c) ; elle y demeure pendant une demi-heure. On tire alors à la carotide gauche 42cc,3 de sang, pas très-rouge. . . . . A.

L'animal, ramené à la pression normale, y respire tranquillement pendant une heure. On lui tire alors 42cc,3 de sang à la même carotide ; évidemment, plus rouge que le précédent. . . . . B.

Le sang A (57c) contient, pour 100 vol. :	O	18,6 ;	CO^2	35,4
— B (76c) — —		21,6 ;	—	36,3

Expérience CLXVI. — 4 juillet. Pression 76^c; temp. 22°. Chienne de moyenne taille.

A 3^h, tiré par une fémorale $45^{cc},3$ de sang peu rouge. . . . . A.

Mis l'animal dans l'appareil; crie et s'agite beaucoup; on arrive à 52^c de diminution pour redescendre à 47^c et remonter à 50^c, le tout pendant environ un quart d'heure. La pression réelle est 26^c. On tire alors $43^{cc},1$ de sang très-noir, à la même artère. . . . . B.

Le sang A (76^c)	contient,	pour 100 vol. :	O 18,3;	CO^2 32,8
— B (26^c)	—	—	9,8;	— 24,5

Expérience CLXVII. — 6 juillet. Pression 76^c; temp. 24°,5. Chienne de l'expérience précédente, bien portante.

Mise dans le grand appareil; amenée en un quart d'heure à 44^c de pression réelle; s'agite beaucoup; maintenue à cette pression pendant 20^m, et on tire alors à la carotide gauche $32^{cc},6$ de sang assez noir. . . . . . A.

L'animal étant ramené à la pression normale, ce qui met environ 5 minutes, on prend aussitôt à la même artère $42^{cc},3$ d'un sang évidemment plus rouge. . . . . B.

Le sang A (44^c)	contient,	pour 100 vol. :	O 16,3;	CO^2 23,3
— B (76^c)	—	—	19,8;	— 29,1

Expérience CLXVIII. — 8 juillet. Pression $75^c,9$; temp. 25°. Chien de très-grande taille.

Mis dans l'appareil; a dans la carotide gauche une sonde neuve du modèle A (fig. 29). On l'amène en un quart d'heure à 20^c de diminution, et on l'y laisse un quart d'heure. On tire alors 39^{cc} de sang, avec difficulté. A.

On pousse le chien à 30^c de diminution, et on essaie d'extraire le sang; mais cela est impossible, la sonde est tordue.

Ramené à la pression normale, le chien continue à crier et à respirer très-vite et très-bruyamment, comme depuis qu'on a tiré le sang A. On prend alors 48^{cc} d'un sang très-rouge. . . . . B.

L'animal, délié, est incapable de marcher; il n'est paralysé d'aucun membre, et ne peut cependant se tenir sur ses quatre pattes.

Le lendemain, même état, sauf que la respiration est calme.

Il meurt au bout de quelques jours, ayant toujours été somnolent et incapable de marcher. On trouve à l'autopsie un ramollissement gris. Il est évidemment entré dans l'appareil circulatoire des bulles dont quelques-unes ont pénétré dans les centres nerveux et intercepté la circulation.

Le sang A (56^c)	contient,	pour 100 vol. :	O 20,9;	CO^2 35,3
— B (76^c)	—	—	26,4;	— 22,7

Je ne ferai pas entrer dans la discussion générale des expériences le curieux résultat qui précède; mais j'ai cru ne pas devoir l'omettre. J'appelle l'attention du lecteur sur le ramollissement cérébral localisé dû à la pénétration de l'air.

Expérience CLXIX. — 30 avril. Pression 77c; température 16°. Chien pesant 11k,5.

A 4h 25m, mis dans l'appareil, et amené en 10m à 36c de pression réelle. A 4h 45m, tiré 46cc d'un sang très-noir, à la carotide droite. . . . . A.

5h : Ramené à pression normale; à 5h 5m, tiré sang 46cc, très-rouge. B.

Le sang	A (36c)	contient, pour 100 vol. :	O	11,9;	CO^2 25,2
—	B (77c)	—	—	20,6;	— 39,0

Expérience CLXX. — 1er mai. Pression 76c; temp. 16°. Chien de l'expérience précédente, bien remis.

4h 15m. Tiré à la carotide gauche 41cc; respiration 60, par minute. A.

4h 30m. Mis dans le grand récipient; à 4h 45m, 33c de diminution; laissé rentrer air jusqu'à 30c (pression 46c). A 4h 45m, tiré 38cc de sang. . B.

Amené à 56c de pression réelle; à 5h 15m, 100 respirations; tiré 41cc de sang. . . . . C.

Ramené lentement à la pression normale; à 6h 20, 60 respirations; tiré 41cc de sang. . . . . D.

Le sang	A (76c)	contient, pour 100 vol. :	O	21,9;	CO^2 34,7
—	B (46c)	—	—	20,3;	— 30,5
—	C (56c)	—	—	21,1;	— 34,7
—	D (76c)	—	—	21,1;	— 35,2

La moyenne entre A et D est O 21,5; CO^2 34,9.

Expérience CLXXI. — 3 mai. Pression 76c. Chien jeune, très-vif, pesant 4 kilog. Carotide droite.

4h 32m. Mis dans le récipient; à 4h 45m, 45c de diminution; 24 respirations scindées en périodes de 3 ou 4 moyennes et 1 très-ample; puis repos.

4h 58m. La dépression a oscillé entre 44c et 47c; elle est actuellement de 45c : 31c de pression réelle. Tiré 41cc de sang, plus noir que du sang veineux ordinaire. . . . . A.

Ramené lentement à la pression normale.

A 5h 7h, est à 25c : 16 respirations avec même type. A 5h 13m, pression normale; tiré 41cc de sang, perdu; à 6h 20m, 16 respirations, même type; tiré 41cc de sang couleur ordinaire. . . . . B.

Le sang	A (31c)	contient, pour 100 vol. :	O	13,6;	CO^2 36,5
—	B (76c)	—	—	19,4;	— 48,4

Expérience CLXXII. — 7 mai; pression 75c; temp. 18°. Chienne pesant 11 kilog.

3h 12m. Mise dans récipient; à 3h 25m, 40c de diminution.

A 3h 45m, maintenue à 39c de diminution (36c de pression réelle); 21 à 24 respirations; tiré 41cc de sang très-noir. . . . . A.

3h 50m, amenée à 46c de pression, et maintenue. A 4h 5m, tiré 41cc de sang, moins noir : 18 à 21 respirations. . . . . B.

Ramenée à la pression normale, qui est obtenue à 4h 15m; à 4h 35m, 30 respirations; à 5h, tiré 41cc de sang, pas très-rouge. . . . . . . C.

Cette chienne a présenté, avant qu'on tire le sang, et après qu'on l'a détachée, de singulières convulsions toniques et cloniques, avec insensibilité cornéale et cris ; la deuxième crise a été très-forte, a duré au moins 15 minutes, et a été suivie d'un état de stupeur, avec petits cris plaintifs : hystérie ? épilepsie?

Le sang A	(36^c)	contient, pour 100 vol. :	O	8,9 ;	CO^2 34,3
— B	(46^c)	—	—	13,2 ;	— 40,7
— C	(76^c)	—	—	20,1 ;	— 41,1

Expérience CLXXIII. — 8 mai. Pression 75^c,5 ; temp. 17°. Petit chien, pesant 5 kilog.

A 4^h, tiré à la carotide droite 35^{cc} de sang bien rouge. . . . . . . A

A 4^h 28^m, mis dans récipient. A 4^h 35^m, 34^c de diminution : 13 respirations, amples ; à 4^h 50^m, 50^c de diminution ; 20 respirations, plus petites. A 5^h 5^m, toujours 50^c de diminution ; 18 respirations ; tiré 35^{cc} de sang, très-noir. . . . . B.

Le sang A	(75^c,5)	contient, pour 100 vol. :	O	22,6 ;	CO^2 39,7
— B	(25^c,5)	—	—	9,8 ;	— 23,1

Expérience CLXXIV. — 9 mai. Pression 75^c,5 ; temp. 16°,5. Chien de l'expérience CLXXI, encore un peu malade. Carotide gauche.

A 3^h 30^m, tiré 27^{cc},5 de sang. A.

A 3^h 50^m, mis dans récipient ; à 4^h 3^m, la pression est à 36^c ; à 4^h 18^m idem ; 33 respirations, moyennes. Tiré 41^{cc} de sang très-noir . . . . B.

Le sang A	(75^c,5)	contient, pour 100 vol. :	O	13,3 ;	CO^2 34,9
— B	(36^c)	—	—	8,5 ;	— 21,4

Expérience CLXXV. — 15 mai. Pression 76^c ; temp. 17°. Chienne grasse et forte, ayant mangé à midi.

A 3^h 10^m, tiré 34^{cc},5 de sang à la carotide droite ; animal tranquille. A.

A 3^h 20^m, mise dans l'appareil, crie, s'agite ; à 3^h 25^m, 56^c de pression. A 3^h 35^m, pression entretenue ; tiré 34^c,5 de sang, animal tranquille, 30 respirations ; mais s'est beaucoup agité. . . . . B.

A 3^h 40^m, 30^c de diminution ; à 3^h 55^m, idem. ; tiré 34^{cc},5 de sang ; animal tranquille, mais s'est agité. . . . . C.

A 4^h, dépression de 40^c ; même état de l'animal ; tiré 34^{cc},5 de sang, noir . . . . D.

Le sang A	(76^c)	contient, pour 100 vol. :	O	17,4 ;	CO^2 33,8
— B	(56^c)	—	—	15,5 ;	— 28,0
— C	(46^c)	—	—	12,5 ;	— 26,4
— D	(36^c)	—	—	10,8 ;	— 22,8

Expérience CLXXVI. — 22 mai. 76^c pression. Chien de moyenne taille, ayant mangé à midi. Carotide droite.

A la pression normale, 13 respirations.

3^h 35^m. Mis dans appareil.

A 4^h 5^m, 40^c de diminution, maintenue.

A 4^h 7^m, 15 respirations, un peu irrégulières.
4^h 25^m, id. ; tiré 33^c,3 de sang, très-noir. . . . . , . . A.
Laissé rentrer air à 4^h 33^m ; 20^c de diminution.
A 4^h 50^m, tiré 33^{c}3, de sang, plus rouge que A. . . . . B.
A 4^h 55^m, pression normale.
A 5^h 25^m, tiré 33^c,3 de sang, assez rouge. . . . . C.

Le sang A (36^c) contient, pour 100 vol. : O 9,6 ; CO^2 33,9
— B (56^c) — — 12,4 ; — 35,0
— C (76^c) — — 16,9 ; — 45,7

Expérience CLXXVII. — 21 juin. Chienne de taille moyenne, n'ayant jamais servi. Sonde dans l'artère carotide droite.
A 4^h 15^m, commencé la diminution de pression.
A 4^h 45^m, 54^c de diminution ; agitation vive, depuis le début.
A 5^h 15^m, 56^c,5 ; 120 respirations.
A 5^h 30^m, 57^c,5 ; je tire 50^{cc} de sang, très-noir. . . . . A.
On laisse rentrer l'air jusqu'à 36^c seulement de diminution ; puis, on reprend la décompression.
A 6^h 8^m, 50^c de diminution ; je tire 35^{cc} de sang, très-noir. . . . . B.
A 6^h 20^m, 56^c ; 40^{cc} de sang, très-noir également . . . . C.
6^h 20^m. Laissé rentrer l'air ; la pression normale est rétablie à 6^h 55^m.
A 7^h 10^m, tiré 57^{cc} de sang, assez rouge. . . . . D.

Le sang A (19^c) contient, pour 100 vol. : O 4,9
— B (26^c) — — 6,5
— C (21^c) — — 4,5
— D (76^c) — — 14,8 ; CO^2 22,1

Expérience CLXXVIII. — 3 juillet. Chien n'ayant jamais servi, pesant 11 kilog ;
A 2^h 30^m, je tire à la carotide droite 35^{cc} d'un sang médiocrement rouge ; l'animal criait et s'agitait . . . . A.
A 2^h 40^m, commencé la décompression.
A 3^h, 55^c de décompression.
A 3^h 11^m, 57^c de décompression ; tiré 35^{cc} de sang, très-noir. . . B.
Laissé rentrer air.

Le sang A (76^c,5) contient, pour 100 vol. : 19,2 d'oxygène.
— B (19^c,5) — — 4,2 —

Expérience CLXXIX. — 5 juillet ; 76^c,5. Chien pesant 10 kilog.
Tiré à la carotide droite 35^{cc} de sang bien rouge ; a 38 respirations, avec petits cris . . . . A.
3^h 25^m. Mis dans l'appareil.
A 3^h 45^m, pression 30^c,5 ; s'agite, crie. A 3^h 55^m, pression 24^c,5 ; la machine à gaz s'arrête.
A 4^h 5^m, pression 38^c ; on relance la machine ; 26 respirations, tranquille.

A 4h 12m, 26c,5; 60 respirations, singultueuses; à 4h 26m, 19c,5 ; 74 respirations, singultueuses.

A 4h 30m, pression 18c ; tiré 35cc d'un sang très-noir. . . . . B.

A 4h 42m, pression 17c ; 80 respirations ; tiré 35cc d'un sang très-noir . . . . C.

Ouvert le robinet ; à 4h 55m, la pression est remontée à 26c ; on l'y maintient, et à 5h 10m on tire 35cc d'un sang noir. . . . . D.

A 5h 13m, revenu à la pression normale.

A 6h pris 35cc de sang, très-rouge. E.

Le sang	A (76c)	contient, pour	100 vol. :	O 20,8 ;	CO^2 46,1
—	B (18c)	—	—	7,6 ;	— 12,9
—	C (17c)	—	—	7,1 ;	— 11,9
—	D (26c)	—	—	9,2 ;	— 13,7
—	E (76c)	—	—	20,8 ;	— 40,5

Lorsque, après avoir suivi les expériences qui précèdent, on jette les yeux sur le tableau X qui les résume et dans lequel elles sont rangées suivant l'ordre des dépressions, l'un des premiers faits qui appellent l'attention est la variation remarquable que présentent les chiffres des colonnes 3 et 4, qui expriment les quantités des gaz oxygène et acide carbonique contenus, à la pression normale, dans 100cc de sang. Les variations pour l'oxygène ont été (en laissant de côté l'expérience CLXXIV pour des motifs que j'indiquerai tout à l'heure) de 16,9 à 22,6 ; celles de l'acide carbonique, de 29,1 à 48,4. Il convient de faire remarquer qu'il n'y a aucune espèce de rapport, ni direct, ni inverse, entre les augmentations ou les diminutions de ces deux gaz, en telle sorte que les variations du total (col. 5), qui ont été de 48,2 à 67,8, ne sont l'expression d'aucune loi distincte.

On chercherait vainement, dans les détails des expériences, l'explication de ces variations. Tous mes chiens étaient en bonne santé, nourris de la même manière et ayant mangé depuis le même temps ; j'avais soin, ainsi que je l'ai dit, de leur tirer du sang pendant une période de tranquillité : ils étaient, en un mot, aussi comparables que possible. Je suis donc porté à croire que ces résultats concordent avec l'état réel des choses et qu'ainsi, d'un individu à un autre, toutes circonstances étant cependant égales, il y a des différences importantes dans la richesse en oxygène du sang artériel. Ces

TABLEAU X.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
NUMÉROS D'ORDRE	NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	GAZ CONTENUS DANS 100cc DE SANG PRESSION NORMALE				GAZ CONTENUS DANS 100cc DE SANG PRESSION DIMINUÉE.					O DISPARU EN VOLUME	CO^2 DISPARU EN VOLUME	O DISPARU POUR 100	CO^2 DISPARU POUR 100
		O	CO^2	$CO^2 + O$	$\frac{CO^2}{O}$	PRESSION	O	CO^2	$CO^2 + O$	$\frac{CO^2}{O}$				
						c								
1	CLXV	21,6	36,3	57,9	1,7	57	18,6	35,4	54,0	1,9	3,0	0,9	13,8	2,5
2	CLXX	21,5	34,9	56,4	1,5	56	21,1	34,7	55,8	1,6	0,7	0,3	3,2	0,8
3	CLXXV	17,4	33,8	51,2	1,9	56	15,5	28,0	43,5	1,8	1,9	5,8	10,9	17,1
4	CLXXVI	16,9	45,7	62,6	2,7	56	12,4	35,0	47,4	2,8	4,5	10,7	26,6	23,4
5	CLXX	21,5	34,9	56,4	1,6	46	20,3	30,5	50,8	1,5	1,2	4,5	5,5	12,9
6	CLXXII	20,1	41,1	61,2	2,0	46	13,2	40,7	53,9	3,0	6,9	0,4	34,3	1,4
7	CLXXV	17,4	33,8	51,2	1,9	46	12,5	26,4	38,9	2,1	4,9	7,4	28,1	21,8
8	CLXVII	19,8	29,1	48,9	1,5	44	16,3	23,3	39,6	1,4	3,5	5,8	12,6	19,9
9	CLXIX	20,6	39,0	59,6	1,9	36	11,9	25,2	37,1	2,1	8,7	13,8	42,2	35,3
10	CLXXI	20,1	41,1	61,2	2,0	36	8,9	34,3	43,2	3,8	11,2	6,8	55,6	16,8
11	CLXXIV	13,3	34,9	48,2	2,6	36	8,5	21,4	29,9	2,5	4,8	13,5	36,1	38,6
12	CLXXV	17,4	33,8	51,2	1,9	36	10,8	22,8	33,6	2,1	6,6	11,0	37,9	32,5
13	CLXXVI	16,9	45,7	62,6	2,7	36	9,6	33,9	43,5	3,5	7,3	11,8	43,2	25,8
14	CLXIII	18,8	39,7	58,5	2,1	31,4	12,0	31,0	43,0	2,6	6,8	8,7	36,2	21,9
15	CLXXI	19,4	48,4	67,8	2,4	31,4	13,6	36,5	50,1	2,7	5,8	11,9	29,3	24,4
16	CLXVI	18,3	32,8	51,1	1,8	26	9,8	24,5	34,3	2,5	8,5	8,3	46,4	25,3
17	CLXXIX	20,8	46,1	66,9	2,2	26	9,2	13,7	22,9	1,5	10,6	32,4	55,7	70,3
18	CLXXIII	22,6	39,7	62,3	1,8	26	9,8	23,1	32,9	2,3	12,8	16,6	55,7	41,8
19	CLXIV	21,5	41,9	63,4	1,9	22	10,7	22,0	32,7	2,0	10,8	19,9	50,0	47,5
20	CLXXIX	20,8	46,1	66,9	»	18	7,6	12,9	20,5	1,7	13,2	33,2	63,4	72,0
21	CLXXIX	20,8	46,1	66,9	»	17	7,1	11,9	19,0	1,7	13,7	34,2	65,8	74,2
22	CLXXX	»	»	»	»	7	»	19,0	»	»	»	»	»	»
23	CLXXXI	19,2	35,0	»	»	7	»	16,2	»	»	»	»	»	53,7

Moyennes.

		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	1 à 4	19,3	37,7	»	»	56	16,9	33,2	»	»	»	»	13,6	10,9
	5 à 8	19,7	34,8	»	»	45 et 44	15,6	30,2	»	»	»	»	21,1	14,0
	9 à 15	18,0	40,4	»	»	34	10,8	29,3	»	»	»	»	43,0	29,2
	16 à 19, sauf 17	20,8	38,1	»	»	25	10,1	23,2	»	»	»	»	50,7	38,2
	20 à 21	20,8	46,1	»	»	17	7,3	12,4	»	»	»	»	64,6	73,1

variations sont, du reste, tout aussi évidentes dans les tableaux d'analyses publiés par d'autres auteurs; ce serait un véritable leurre que de s'en débarrasser en en tirant une moyenne quelconque.

Dans mes expériences, une seule des différences constatées s'explique par l'état de l'animal, c'est celle de l'expérience CLXXIV. Il s'agit ici d'un chien de petite taille (4 kil.), auquel cinq jours avant j'avais tiré 110^{cc} de sang artériel, c'est-à-dire à peu près la moitié de ce qu'il aurait fallu enlever pour le tuer de suite, qui était resté malade et mangeant peu depuis ce temps. Dans la première expérience, son sang avait donné 19,4 d'oxygène et 48,4 d'acide carbonique; dans la seconde, il n'y avait plus que 13,3 d'oxygène et 34,9 d'acide carbonique : les deux gaz avaient ainsi considérablement diminué.

Les variations de l'acide carbonique sont, comme nous l'avons dit tout à l'heure, considérablement plus étendues que celles de l'oxygène, mais ne s'expliquent pas mieux : il y a là un ensemble de problèmes analogues à ceux que nous avons, MM. Mathieu et Urbain et moi, déjà étudiés, et qui nécessiterait des expériences extrêmement nombreuses.

En arrivant maintenant au point qui doit ici nous occuper spécialement, un simple coup d'œil jeté sur les chiffres des colonnes 8 et 9 du tableau X, comparés aux chiffres correspondants des colonnes 3 et 4, nous montre que dans tous les cas, sous pression diminuée, l'oxygène et l'acide carbonique ont diminué dans le sang artériel. Il n'y a pas eu d'exception à cet égard.

C'est ce qu'expriment d'une manière bien nette dans la figure 31 les tracés composés de traits réunissant de petits cercles o·—·—·—o·—· Dans ce graphique, les quantités de gaz sont mesurées sur l'axe des y et les pressions sur celui des x; les points en ont été déterminés par la convention suivante :

J'ai pris les chiffres qui expriment les moyennes et sont placés au bas du tableau X. J'ai supposé que la valeur initiale, à la pression normale, de l'oxygène (col. 3), était toujours 20, et que celle de l'acide carbonique (col. 4) était toujours 40.

Alors les valeurs aux diverses pressions (col. 8 et 9) ont été modifiées en vertu d'opérations analogues à celles-ci :

Moyenne des expériences de 1 à 4. { O. . 19,3 (col. 3) : 20 = 16,9 (col. 8) : x = 17,5
{ CO^2. 37,7 (col. 4) : 40 = 33,2 (col. 9) : x = 35,2

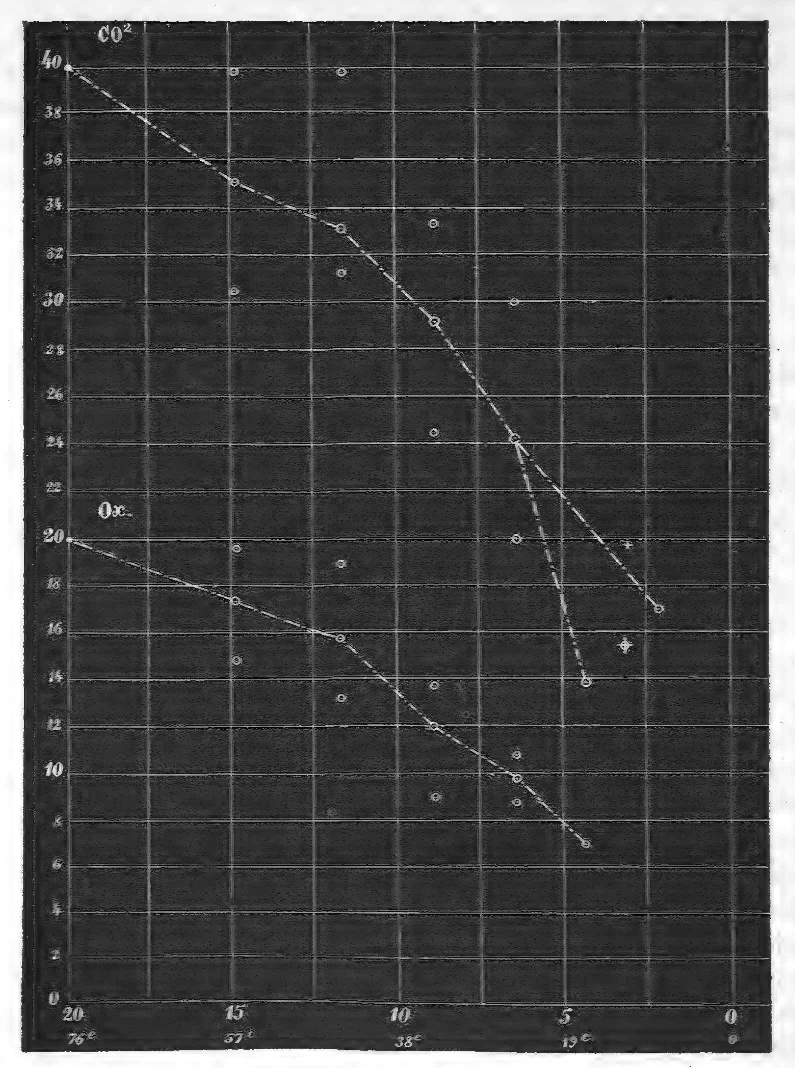


Fig. 31. — Diminution des quantités d'O. et de CO^2 contenues dans le sang artériel, quand la pression barométrique diminue.

En même temps, à chaque pression, j'ai fait le même cal-

cul, non plus pour les moyennes, mais pour les valeurs extrêmes des modifications, et j'ai obtenu ainsi les points marqués par des petits cercles isolés qui accompagnent les deux courbes représentatives des moyennes.

Les mêmes faits sont exprimés sous une forme différente, plus simple peut-être, par les colonnes 12, 13, 14 et 15. Les colonnes 12 et 13 indiquent la quantité absolue des gaz qui ont disparu. Les colonnes 14 et 15, plus instructives, expriment la proportion disparue et non plus la quantité absolue. Elles ont été obtenues par des opérations analogues à celles-ci :

Expérience n° 1. { O. . . . 21,6 (col. 3) : 3,0 (col. 12) = 100 : x = 13,8 (col. 14)
{ CO^2. . . 36,3 (col. 4) : 0,9 (col. 13) = 100 : x = 2,5 (col. 15)

Examinant d'abord la colonne 8, nous voyons que la quantité d'oxygène contenue dans le sang artériel a pu, à des pressions de 30 ou 40^c, s'abaisser à 9^{cc} pour 100^{cc} de sang; c'est-à-dire qu'à ce moment *le sang artériel était notablement moins riche en oxygène que du sang veineux ordinaire.*

La diminution de l'acide carbonique a été également (col. 9) très-considérable; les chiffres exprimant la proportion de ce gaz se sont, en effet, abaissés presque jusqu'à 20^{cc} pour 100^{cc} de sang. Nous reviendrons plus loin sur les conséquences de ces faits.

En comparant les expériences faites à une même diminution de pression, nous trouvons que la désoxygénation et la décarbonisation ont singulièrement varié. C'est ainsi que les chiffres les plus faibles des colonnes 8 et 9 se trouvent non point à la fin, mais vers le milieu du tableau. Les conséquences de ce fait sont encore plus évidentes dans les colonnes 14 et 15; on y voit que, par exemple, à 36^c de pression, c'est-à-dire à environ une demi-atmosphère, le sang artériel a perdu, dans les diverses expériences, de 36,1 à 55,6 pour 100 de son oxygène, et de 16,8 à 38,6 de son acide carbonique.

Il est difficile d'expliquer ces différences par les diverses manières d'être des animaux observées pendant la diminution de pression. Cet élément peut avoir de l'importance; mais

il ne doit pas être le seul, et très-vraisemblablement des animaux ayant la même manière d'être doivent différer quant au résultat, pour une même dépression, et perdre plus ou moins d'oxygène ou plus ou moins d'acide carbonique les uns que les autres. Ceci a des conséquences pratiques intéressantes sur lesquelles nous insisterons en leur lieu.

En laissant de côté ces différences individuelles, encore plus difficiles à étudier ici que dans le cas de la pression normale, et en les faisant disparaître dans des moyennes, nous voyons (col. 14) que, en moyenne, le sang artériel à la pression de 56c contient 13,6 pour 100 d'oxygène de moins qu'à la pression normale; qu'à 46c, il en contient 21,1 p. 100 de moins; à 36c, 43 pour 100, et à 26c, 50,7 pour 100. Ainsi, à 26c, en moyenne, la moitié de l'oxygène du sang a disparu. Ces chiffres montrent que la diminution de ce gaz est loin de suivre la loi de Dalton, qui donnerait, pour les mêmes dépressions, des pertes de 26,3; 39,4; 52,6; 65,8 pour 100.

Les pertes de l'acide carbonique (col. 15) pour les mêmes dépressions, en moyenne, sont de 10,9; 14,0; 29,2; 38,2 pour 100 du gaz existant à la pression normale; cela est encore plus loin, comme on le voit, de la loi de Dalton.

Ces chiffres montrent même que la perte moyenne en acide carbonique est moindre que celle en oxygène. La plus forte proportion de perte, pour le premier gaz (col. 15), a été de 41,8 pour 100; pour le second, nous avons eu (col. 14) deux fois 55,6. Dans un cas (exp. CLXXII), à 46c de pression, la quantité d'acide carbonique était presque restée la même qu'à la pression normale. Ces résultats se traduisent sous une autre forme dans les colonnes 6 et 11, indiquant la proportion de l'acide carbonique et de l'oxygène sous les diverses pressions. On voit qu'à la pression normale, ce rapport a oscillé de 1,5 à 2,7, avec une moyenne de 1,9, tandis qu'aux faibles pressions, il a oscillé de 1,5 à 3,8, avec une moyenne de 2,3. Dans presque tous les cas, le chiffre de la colonne 11 est plus fort que celui qui lui correspond dans la colonne 6, que celui-ci soit faible ou fort : les exceptions (exp. CLXXV, CLXX,

CLXVII, CLXXIV) se rapportent à des cas où le sang à la pression normale contenait des quantités d'acide carbonique assez faibles, allant de 29,1 à 35cc.

Ces faits peuvent être exprimés d'une manière plus précise par la formule suivante :

La combinaison de l'oxygène avec l'hémoglobine est susceptible de se détruire partiellement, de *se dissocier*, à de faibles diminutions de pression ; cette dissociation est évidente dès 20c de diminution (pression de 56c). Elle va en augmentant quand la dépression augmente. De 10 en 10c, nous trouvons en moyenne : de 56 à 46c, une perte de 7,5 pour 100 ; de 46 à 36c, une perte de 21,9 pour 100 ; de 36 à 26c, une perte de 7,7 pour 100. La perte la plus considérable se fait donc aux environs d'une demi-atmosphère.

Le tracé Ox de la figure 32 donne au premier coup d'œil la marche de cet appauvrissement graduel en oxygène ; sur l'axe horizontal sont comptées les pressions, et sur l'axe vertical les proportions centésimales des gaz disparus (col. 14 et 15 du tableau X).

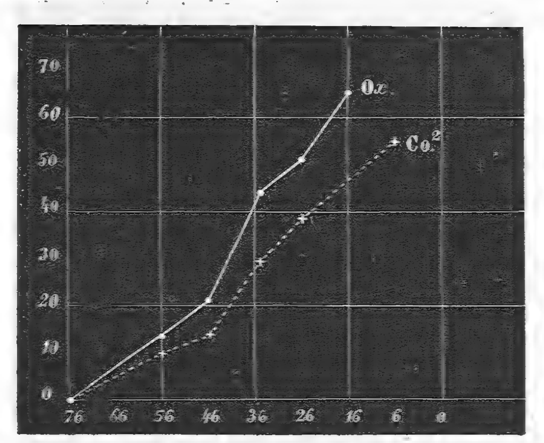


Fig. 32. — Diminution centésimale de l'O. et du CO^2 du sang artériel quand la pression barométrique diminue.

Quant à l'acide carbonique, il se conduit à peu près de même ; seulement, sa diminution est toujours moindre que celle de l'oxygène : tout ceci se voit aisément sur le tracé CO^2.

Le graphique montre encore que la diminution des gaz ne se fait pas suivant la loi de Dalton (qui serait représentée par la bissectrice de l'angle des coordonnées). C'est l'acide carbonique qui s'en éloigne le plus. Cependant il faut dire que l'écart n'est pas très considérable, pour l'un ni l'autre gaz.

Cela est fort remarquable si on se reporte aux opinions qui ont cours sur l'état dans lequel se trouvent les gaz dans le sang, d'après les recherches de M. Fernet, aujourd'hui classiques (voir plus haut, p. 260). D'abord, l'oxygène, uni chimiquement aux globules, ne serait pas modifiable, quant à sa proportion, par la pression diminuée (ou augmentée); or, il en va tout autrement, puisque l'appauvrissement en oxygène est des plus manifestes, et se rapproche notablement de ce que commanderait la loi qui régit les simples dissolutions.

La difficulté se présente sous un aspect inverse lorsque l'on considère l'acide carbonique. Les expériences de M. Fernet ont fait prédominer cette manière de voir, que l'acide carbonique du sang est pour la plus grande partie (0,964) à l'état de simple dissolution dans le liquide, et qu'une proportion relativement faible (0,597) s'y trouve seule à l'état de combinaison. Or, ce que nous venons de dire rend peu probable cette interprétation des expériences de M. Fernet. Si la plus grande partie de l'acide carbonique était dissoute, la sortie de l'acide carbonique s'exécuterait plus facilement et plus régulièrement sous l'influence de la dépression, et le tracé CO^2 se rapprocherait davantage de la bissectrice. Nous trouverons, du reste, dans une autre partie de ce travail, d'autres raisons de penser que l'acide carbonique du sang artériel est, pour la plus forte proportion, combiné aux carbonates et aux phosphates, et qu'il n'en existe qu'une très-faible partie à l'état dissous. Seulement ces combinaisons se dissocient aisément sous l'influence de la diminution de pression.

Ces contradictions avec les conclusions de M. Fernet n'impliquent nullement une critique de son important travail. Car il faut faire remarquer que les expériences de ce physicien ont été faites *in vitro*, et à basse température, tandis que les miennes ont eu pour appareil instrumental l'animal vivant lui-même. La présence des tissus, la consommation incessante de l'oxygène, la multiplicité des surfaces de contact du sang et de l'air, les mouvements circulatoires, la formation probable pendant l'absorption d'oxygène de substances capa-

bles d'agir sur l'élimination de l'acide carbonique, la température élevée du corps vivant, sont des conditions qui existaient dans un cas et non dans l'autre. Sans parler des éléments encore absolument inconnus du problème complexe de la respiration, en voilà assez pour faire comprendre plutôt que pour expliquer les différences de nos résultats.

J'ai voulu, du reste, faire moi-même des expériences *in vitro*, dans lesquelles j'opérerais des changements de pression beaucoup plus considérables que ceux obtenus par M. Fernet. Le récit de ces expériences formera le sous-chapitre V du présent chapitre.

Le lecteur a pu remarquer que je n'ai étudié la composition des gaz du sang qu'à partir de 56c. Entre 56c et 76c, je n'ai cru devoir rendre compte d'aucune de mes expériences. C'est qu'ici la valeur des modifications que l'on rencontre est précisément de l'ordre des erreurs d'analyses. Il faudrait donc, pour pouvoir conclure quelque chose, faire un nombre considérable d'expériences, et en tirer une moyenne qui exprimerait le sens, sinon la valeur réelle de la modification. Or ce sens me paraît suffisamment déterminé par ce que nous savons jusqu'ici. La diminution de l'oxygène et de l'acide carbonique du sang, évidente et constante à 56c, bien que très-variable quant à sa valeur, commence, à coup sûr, notablement plus tôt, mais à des niveaux barométriques et avec une intensité qui doivent varier d'un animal à l'autre, ou chez le même animal suivant diverses circonstances.

D'autre part, toutes les expériences montrent que l'oxygène sort toujours en proportion plus grande que l'acide carbonique. Cela doit suffire pour nous faire penser que cette règle s'étend à la période comprise dans les 20 premiers centimètres de diminution de pression, période qui présente cette importance toute spéciale d'être celle à l'influence de laquelle sont soumis le plus grand nombre des habitants des hauts lieux.

. . . .

Si notre tableau d'expériences montre que nous n'avons pas commencé dès le début des dépressions, il montre égale-

ment que nous ne sommes pas allés jusqu'au bout, c'est-à-dire jusqu'à la diminution de pression qui devient incompatible avec la vie des animaux. C'est que mes appareils ne m'ont pas permis de le faire, les fuites impossibles à éviter dans d'aussi vastes récipients arrêtant, comme je l'ai dit, à 17^c la diminution de pression.

J'ai tâché de combler cette lacune par un moyen détourné. Je mettais un chien sous une grande cloche de verre, et l'y faisais périr par diminution de pression. Puis, le retirant aussi rapidement que possible, je prenais du sang dans son cœur gauche à l'aide d'une sonde.

Voici deux expériences ainsi conduites :

Expérience CLXXX. — 15 mai. Chien pesant 5 kilog. ; cloche de 31 litres. Carotide gauche mise à découvert à l'avance.

Mis à $5^h 40^m$ sous la cloche, et commencé la diminution de pression en entretenant un courant d'air.

A $5^h 47^m$, pression 45^c ; s'est agité, mais reste maintenant tranquille.

A $5^h 50^m$, 45^c ; 17 respirations, larges ; reste immobile ; tremble.

A $5^h 53^m$, 35^c ; 17 respirations ; immobile, la tête basse ; à $5^h 55^m$, 12 respirations.

A $5^h 58^m$, pression 25^c ; à 6^h, 22 respirations ; immobile.

A $6^h 5^m$, 16 respirations ; amené la pression à 15^c. $6^h 7^m$: ne peut plus se tenir comme il l'a fait jusqu'ici à demi-assis ; se couche, le nez appuyé pour soutenir la tête ; fait par minute 28 énormes respirations. On maintient la pression à 15^c.

A $6^h 10^m$, 39 respirations moins amples.

A $6^h 15^m$, 35^c ; à $6^h 15^m$, 44 : sortie de matières fécales, sans effort apparent ; à $6^h 19^m$, 40 respirations.

A $6^h 20^m$, je ferme le robinet d'appel ; la pression s'abaisse aussitôt à 7^c. Le chien se soulève sur les quatre pattes, se raidit violemment, bien qu'avec une lenteur régulière, cesse de respirer, et s'affaisse, mort.

Je laisse rentrer l'air : l'animal se dégonfle beaucoup. Retiré, fait deux ou trois petites inspirations pendant qu'on introduit la sonde dans le cœur gauche. Le cœur bat encore un peu ; on tire avec beaucoup de peine 32^{cc} d'un sang très-noir.

Les poumons sont, par larges places, rouges, allant au fond de l'eau, mais se déplissant parfaitement par l'insufflation. Il y a là une sorte d'état fœtal. Pas de sang dans la trachée, ni dans les bronchioles.

Le sang extrait contient, pour 100 volumes : CO^2 19,0 ; O 4,9.

Expérience CLXXXI. — 23 mai. Chien pesant 4 kilog.

Pris à la carotide gauche 33^{cc},3 de sang. . . . . A.

6h. Mis sous cloche de 31 litres, et commencé à diminuer la pression.

A 6h 6m, pression 40c; à 6h 8m, 35c ; 14 respirations.

A 6h 12m, ramené à 45c, 10 respirations.

A 6h 15m, pression 31c; se lève, s'assied, se retourne.

A 6h 17m, pression 26c; assis, mais la tête basse, 15 respirations ; lève la tête quand on frappe la cloche.

A 6h 20m, pression 15c ; tombe, urine, aboie faiblement et plaintivement.

A 6h 21m, pression 13c ; se relève, aboie et retombe.

A 6h 25m, pression 13c; couché, 9 respirations, moyennes.

Fermé le robinet : la pression descend doucement à 7c ; l'animal parait mort, quand tout à coup (6h 27m) il se redresse debout, se raidit lentement et fortement, et retombe.

On revient à 15c ; il paraît mieux, se remue un peu ; on remonte à 7c ; meurt sans mouvement.

Retiré de suite. J'extrais sans difficultés, du cœur gauche, 50cc d'un sang très-noir. . . . . B.

Au premier coup de pompe, il ne vient rien. Au deuxième, environ 3cc ; au troisième, une assez forte quantité de gaz, et au quatrième presque rien. Le sang n'a pas moussé sensiblement. C'est au reste ce que nous avait donné l'expérience précédente et ce qui s'explique par la faible quantité de gaz.

Le sang A contenait, pour 100 vol. : CO^2 35,0 ; O 19,2
— B — — 16,2 ; — 8,1

Ces expériences ne permettent de rien conclure relativement à l'oxygène, parce que, bien évidemment, lors du retour à la pression normale, l'oxygène de l'air contenu dans les vésicules pulmonaires s'est dissous en partie dans le sang des poumons, qui a été ensuite chassé dans le cœur gauche. Aussi le sang artériel était-il très-rouge, ce qui avait déjà, comme nous l'avons vu dans l'historique (p. 259), singulièrement embarrassé F. Hoppe. Mais l'acide carbonique est dans un autre cas, et nous pouvons voir qu'il a été réduit à 19c,0 et 16cc,2. Quant à la proportion disparue, elle a été, dans l'expérience CLXXXI, de 53,7 pour 100.

Or, en nous reportant au tableau X, p. 643, nous trouvons à la pression de 17 centimètres (expér. CLXXIX) une perte bien plus forte, de 74 pour 100. Mais d'abord, cette perte n'est pas une moyenne, puisqu'elle ne résulte que de deux analyses faites sur le même animal, dans la même expérience, l'une à 18 centimètres, l'autre à 17 centimètres, avec 12 minutes

d'intervalle. De plus, pour arriver à cette dépression énorme, que je n'ai pu atteindre depuis, j'avais dû maintenir pendant une heure l'animal à une pression inférieure à 30 centimètres (voy. à la page 641 le détail de l'expérience).

Je signalerai encore dans cette expérience CLXXIX la très-faible proportion d'acide carbonique qu'a retenue le sang en passant de 17 à 26 centimètres de pression (anal. D), malgré un quart d'heure d'intervalle. J'ai cru ne pas devoir faire entrer ce chiffre n° 17, tableau X, dans la moyenne de la colonne 15 et dans le graphique de la figure 32 qui l'exprime.

Un autre point intéressant est, au contraire, le retour des proportions normales d'oxygène et à peu près normales de CO^2 lorsque l'animal a été ramené à la pression de 76 centimètres (trois quarts d'heure après). J'ai eu de nombreux exemples de cette réparation des gaz, exemples plus rapides encore.

Quant aux chiffres des analyses B, C, D (n°s 20, 21, 17 du tableau X), je pense qu'il faut les considérer comme des minima pour l'acide carbonique, et j'ai préféré inscrire au tracé CO^2 de la figure 31 les résultats fournis par les expériences à 7 centimètres, qui semblent être plus près de la moyenne, et mieux rentrer dans la loi du graphique.

Il me serait facile de tirer maintenant des conséquences pratiques de la considération des faits qui précèdent, et de montrer ce qu'il advient du sang des voyageurs qui, soit en ballon, soit sur le flanc des montagnes, se soumettent à des diminutions importantes de pression. Mais je pense que ces réflexions se trouveront mieux à leur place dans la troisième partie de cet ouvrage, lorsque je déduirai de l'ensemble des faits expérimentaux l'explication des troubles produits par les modifications de la pression. Je me contente ici de résumer les résultats ci-dessus rapportés en cette formule simple :

Quand la pression diminue, la quantité des gaz contenus dans le sang diminue également, mais en proportion un peu moindre que celle qu'indiquerait la loi de Dalton; le sang perd ainsi relativement plus d'oxygène que d'acide carbonique.

SOUS-CHAPITRE III

DES GAZ DU SANG AUX PRESSIONS SUPÉRIEURES A CELLE D'UNE ATMOSPHÈRE.

§ 1. — Dispositif des expériences.

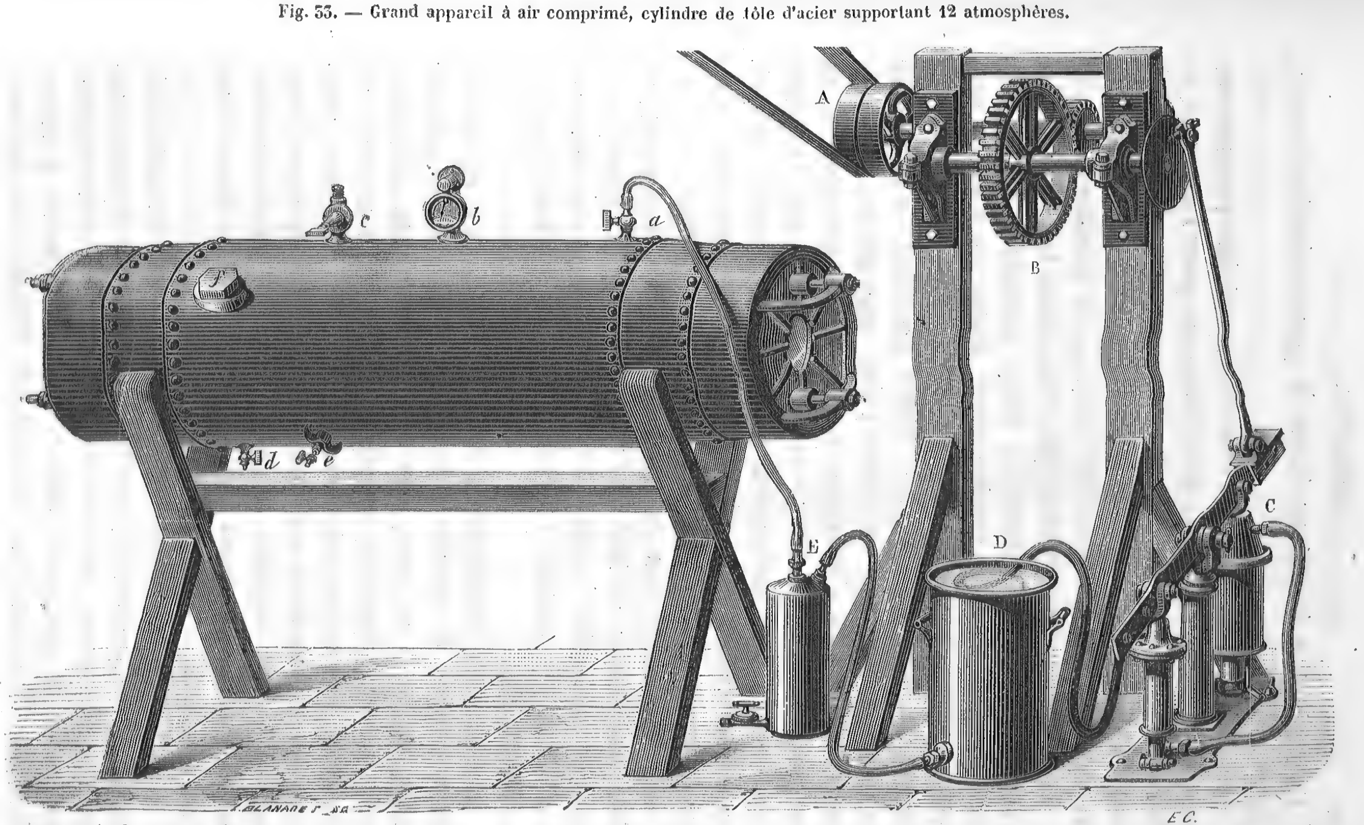
L'appareil que j'emploie en vue de l'extraction du sang d'animaux soumis à des pressions supérieures à celle de l'atmosphère consiste (fig. 33) en un cylindre droit en tôle d'acier de 4 mill. d'épaisseur. La partie moyenne du cylindre est à base circulaire, tandis que les deux extrémités ont pour directrice une ellipse. Le raccord est assujetti au moyen de nombreux boulons très-petits. La forme elliptique a pour objet de permettre d'introduire, en les présentant par leur petit axe, les portes qui doivent fermer les extrémités du cylindre.

Ces portes consistent en un cadre de fonte au centre duquel est fixé un hublot de verre de 18 mill. d'épaisseur, sur un diamètre de 10 cent. On les met en place en les présentant obliquement et en les entrant dans le cylindre; ramenées alors en arrière, elles se juxtaposent au rebord et ferment hermétiquement, grâce à une rondelle de caoutchouc. Deux chevalets armés d'écrous les maintiennent en place; la pression de dedans en dehors fait le reste.

La longueur totale du cylindre est de $1^m,50$; son diamètre, dans sa partie circulaire, est de 40 cent.; la capacité totale est donc d'environ 153 litres.

On charge l'appareil au moyen d'une pompe à compression C du système Rouquayrolle et Denayrouze, mue par la machine à gaz dont on voit en A l'embrayage qui actionne les engrenages B; l'air chargé de vapeur d'eau que lance cette pompe, et dont la température s'élève notablement, est forcé de traverser un serpentin baignant dans l'eau froide D, muni d'un réservoir E pour l'eau de condensation.

Fig. 53. — Grand appareil à air comprimé, cylindre de tôle d'acier supportant 12 atmosphères.



A. Courroie de transmission de la machine à vapeur. — B. Système d'engrenages. — C. Pompe Denayrouze à compression. — D. Serpentin pour refroidir l'air comprimé. — E. Récipient pour recevoir l'eau condensée en D. — *a* Robinet par lequel arrive l'air comprimé. — *b* Manomètre. — *c* Gros robinet pour décompression brusque. — *d* Robinet pour recueillir l'eau, l'urine, contenues dans l'appareil. — *f* Ouverture de fortes dimensions pour manipulations diverses.

Un robinet *a* établit ou ferme la communication avec la pompe.

Un autre robinet *c*, dont l'ouverture peut être progressivement augmentée, permet, soit d'extraire, pour l'analyser, de l'air du récipient, soit d'y entretenir, sous pression, un courant d'air pur, soit, enfin d'obtenir une décompression très-brusque. Enfin, le manomètre *b* indique la pression.

En *d* se trouve un robinet qui, situé dans la partie déclive d'une garniture intérieure en zinc, permet d'extraire les urines ou les eaux de condensation. Enfin, en *f* est un gros orifice qui peut, tantôt être fermé par une tête à pas de vis, comme le montre la figure, tantôt permettre d'introduire un thermomètre, une serre-fine à tige, une sonde, etc. Pour empêcher l'air de s'échapper autour de ces instruments, on leur fait traverser une balle de caoutchouc (B, fig. 34), prise dans une bague en cuivre dont le pas de vis la serre à volonté. Cette disposition tout en oblitérant complétement l'air, laisse aux instruments une mobilité qui peut être utile.

Lorsqu'on veut voir ce qui se passe dans l'appareil, on place une bougie en face de l'un des hublots de verre, et on regarde par l'autre : manœuvre périlleuse, car c'est dans ces conditions que survint l'explosion dont je parlerai dans un autre chapitre.

Le chien sur lequel devra être faite l'opération est solidement attaché, le museau pris dans une muselière, sur un cadre en fer et en bois, dont la forme s'adapte à la paroi intérieure de l'appareil, en telle sorte que l'animal, une fois introduit, ne peut se déplacer. Dans une de ses artères carotides A, est introduite une sonde métallique S, qui peut, lorsque l'animal est en place, se raccorder avec un tube de cuivre qui traverse à vis la paroi de l'appareil, et est muni au dehors d'un robinet R.

Les choses étant disposées, on ferme le robinet R, la serre-fine SF fermant la carotide et empêchant le sang d'entrer dans la sonde. On fixe alors la porte du cylindre et on commence la pression; celle-ci monte aisément à raison d'environ 4 minutes par atmosphère, lorsque tous les robi-

nets sont bien fermés. Il faut ainsi à peu près 40 minutes pour arriver à 10 atmosphères, pression maxima que j'aie atteinte avec cet appareil.

Rien de plus simple maintenant que d'extraire le sang de l'animal, lorsqu'on est arrivé à la pression désirée. Il suffit d'ouvrir le robinet R et d'enlever la serre-fixe SF pour voir le sang carotidine s'élancer avec une force extraordinaire au dehors. Dans ces conditions, en effet, l'animal est comme une éponge puissamment exprimée par une force correspondante à 1k,03 multiplié par le nombre des atmosphères et par la surface extérieure de son corps. Toute la manœuvre consiste donc à adapter au caoutchouc épais qui adhère au robinet la seringue en verre de la fig. 23. En ouvrant avec précaution les robinets, on voit le piston de la seringue soulevé énergiquement par la pression du sang. Il ne faut pas manquer d'adapter à la seringue son robinet propre, et de le fermer aussitôt qu'on a pris la quantité désirée de sang, afin d'empêcher les gaz qui se dégagent souvent de s'échapper. Quand ce dégagement était considérable, je pesais la seringue pour avoir la quantité de sang, les lectures de volume devenant alors fort inexactes.

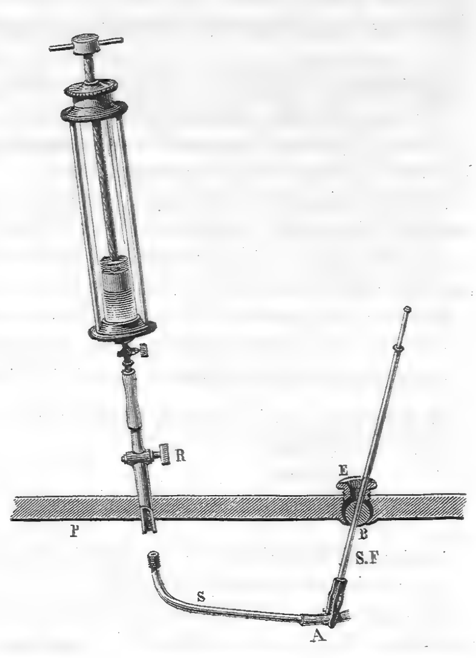


Fig. 34. — Extraction du sang d'un animal placé dans l'air comprimé.

§ 2. — Expériences.

Voici maintenant le récit détaillé des expériences faites dans les conditions ci-dessus indiquées.

EXPÉRIENCE CLXXXII. — 25 juillet. Chien pesant 12 kilog.

Tiré à la carotide gauche 36^{cc} de sang . . . . A.

$4^h 30^m$. Mis dans l'appareil à compression, et foulé l'air avec courant; à $5^h 8^m$, on est arrivé à 10 atmosphères.

A $5^h 15^m$, tiré $36^{gr},7$ de sang, très-rouge; des gaz se dégagent dans la seringue, et le sang commence très-vite à se coaguler. . . . . B.

Ramené en 2 min. à 6 atmosphères, et entretenu à cette pression, sous courant; à $5^h 45^m$, tiré $39^{cc},7$ de sang un peu moins rouge; pas de gaz libre (C).

Ramené brusquement à 3 atmosphères, et entretenu sous-courant d'air.

A $6^h 33^m$, tiré $38^{cc},2$ de sang; pas de gaz libres . . . . (D)

On décomprime lentement. A 7^h, l'animal va bien; il survit sans accident.

Le sang A (1 atm.)	contient,	pour 100 vol. :	O 19,4;	CO^2 35,3;	Az. 2,2
— B (10 atm.)	—	—	24,6;	36,4;	11,3
— C (6 atm.)	—	—	23,7;	35,6;	8,1
— D (3 atm.)	—	—	20,9;	35,1;	4,7

EXPÉRIENCE CLXXXIII. — 27 juillet. Chienne pesant 9 kilog.

Tiré $29^{cc},5$ de sang à la carotide . . . . (A)

Mise dans l'appareil à compression ; avant chaque extraction de sang, je maintiens à la pression déterminée, sous courant d'air, pendant quelques minutes.

A $3^h 21^m$, tiré $29^{cc},5$ de sang à 2 atmosphères. . . . . (B)

A $3^h 48^m$, $34^{cc},3$ de sang à 5 atmosphères . . . . (C)

A $4^h 35^m$, $38^{cc},2$ de sang à 7 1/2 atmosphères. . . . . (D)

Jusque-là, pas de dégagement de gaz dans la seringue.

A $5^h 15^m$, tiré $30^{cc},7$ de sang à 10 atmosphères; ici, il vient des bulles fines de gaz. . . . . (E)

Décomprimée en 30 minutes; meurt.

Le reste de son histoire sera rapporté au chapitre VII.

Le sang A (1 atm.)	contient,	pour 100 vol. :	CO^2 18,3;	CO^2 37,1;	Az 2,2
— B (2 atm.)	—	—	19,1;	37,7;	3,0
— C (5 atm.)	—	—	20,6;	40,5;	6,1
— D (7 1/2 atm.)	—	—	21,1;	36,8;	perdu
— E (10 atm.)	—	—	21,4;	36,8;	11,4

EXPÉRIENCE CLXXXIV. — 5 août. Chienne pesant 11 kilog.

Tiré $29^{cc},5$ de sang à la carotide . . . . (A)

Mise dans l'appareil à $5^h 33^m$. Même précaution qu'à l'expérience précédente.

A $5^h 53^m$, 3 atmosphères ; tiré $29^{cc},5$ de sang; il s'en dégage quelques bulles de gaz. . . . . (B)

A $6^h 28^m$, 6 atmosphères 3/4 ; tiré $29^{cc},5$ de sang ; le dégagement gazeux est évident . . . . (C)

L'animal crie et se plaint.

A $7^h 10^m$, 9 atmosphères 1/4 ; tiré 36^{cc} de sang ; gaz en abondance (D)

On ouvre fort grand le robinet de la sonde; il sort ainsi 250^{gr} de sang très-rouge, qui se coagule aussitôt ; il s'y dégage beaucoup de gaz.

Décomprimé rapidement, l'animal meurt aussitôt. Le reste de son histoire au chapitre VII.

			O	CO^2	Az.
Le sang A (1 atm.)	contient,	par 100 vol. :	18,4;	47,7;	2,5
— B (3 atm.)	—	—	20,0;	42,2;	4,4
— C ($6^3/_4$ atm.)	—	—	21,0;	41,3;	7,1
— D ($9^1/_4$ atm.)	—	—	21,2;	39,8;	9,3

Expérience CLXXXV. — 7 août. Chienne pesant $8^k,5$.

Tiré à la pression normale $31^{cc},9$ de sang ; l'animal en perd de plus, par accident, environ 35^{cc}. . . . . (A)

A $5^h 25^m$, 5 atmosphères ; tiré $30^{cc},7$ de sang, dans lequel se dégagent des bulles de gaz. . . . . (B)

A $6^h 5^m$, 8 atmosphères ; tiré $31^{cc},9$ de sang ; bulles nombreuses . (C)

A $6^h 33^m$, 10 atmosphères ; tiré $33^{gr},8$ de sang ; les gaz s'y dégagent en abondance, et la coagulation menace de se faire avec rapidité.

Décomprimé ; la fin de son histoire au chapitre VII.

			O	CO^2	Az
Le sang A (1 atm.)	contient,	pour 100 vol. :	22,8;	50,1;	2,3
— B (5 atm.)	—	—	23,9;	35,2;	6,0
— C (8 atm.)	—	—	25,4;	37,6;	9,5
— D (10 atm.)	—	—	25,2;	39,0;	10,0

Expérience CLXXXVI. — 8 août. Chien pesant $12^k,5$.

Tiré $33^{cc},8$ de sang à la pression normale, par la carotide droite. . (A)

Mis dans l'appareil à $4^h 45^m$.

A $5^h 33^m$, 5 atmosphères 1/2 ; tiré $32^{cc},9$ de sang ; dégagement de gaz . . . . (B)

A $6^h 41^m$, 10 atmosphères ; tiré $36^{gr},1$ de sang ; gaz en abondance dans la seringue . . . . (C)

Décomprimé ; la fin de son histoire au chapitre VII.

			O	CO^2	Az
Le sang A (1 atm.)	contient,	pour 100 vol. :	20,2;	37,1;	1,8
— B (5 atm. $^1/_2$)	—	—	23,7;	35,5;	6,7
— C (10 atm.)	—	—	24,7;	37,9;	9,8

Ces divers résultats sont distribués dans le tableau XI, suivant l'ordre croissant des pressions.

TABLEAU XI.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
NUMÉROS D'ORDRE	NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	PRESSION NORMALE GAZ CONTENUS DANS 100cc DE SANG				PRESSION AUGMENTÉE GAZ CONTENUS DANS 100cc DE SANG					O AUGMENTÉ POUR 100	CO^2 AUGMENTÉ POUR 100	Az AUGMENTÉ POUR 100	GAZ LIBRES
		OXYGÈNE	CO^2	Az	TOTAL	PRESSION	O	CO^2	Az	TOTAL				
1	CLXXXIII	18,3	37,1	2,2	57,6	atm. 2	19,1	37,7	3,0	59,8	4,5	+ 1,6	36	pas de gaz
2	CLXXXII	19,4	35,3	2,2	56,9	3	20,9	35,1	4,7	60,7	7,7	— 0,9	113	pas de gaz
3	CLXXXIV	18,4	47,7	2,5	68,6	3	20,0	42,2	4,4	66,6	8,6	— 11,7	76	un peu de gaz
4	CLXXXIII	18,3	37,1	2,2	57,6	5	20,6	40,5	6,1	67,2	12,5	+ 9,2	177	pas de gaz
5	CLXXXV	22,8	50,1	2,3	75,2	5	23,9	35,2	6,0	65,1	6,0	— 29,7	161	gaz
6	CLXXXVI	20,2	37,1	1,8	59,1	5 1/2	23,7	35,5	6,7	65,9	17,3	— 4,2	272	gaz
7	CLXXXII	19,4	35,3	2,2	56,9	6	23,7	35,6	8,1	67,4	22,1	+ 0,8	268	pas de gaz
8	CLXXXIV	18,4	47,7	2,5	68,6	6 3/4	21,0	41,3	7,1	69,4	14,1	— 13,4	184	gaz
9	CLXXXIII	18,3	37,1	2,2	57,6	7 1/2	21,1	36,8	»	»	15,3	— 0,8	»	pas de gaz
10	CLXXXV	22,8	50,1	2,3	75,2	8	25,4	37,6	9,5	72,5	11,4	— 24,9	313	gaz
11	CLXXXIV	18,4	47,7	2,5	68,6	9 1/4	21,2	39,8	9,3	70,3	15,3	— 16,5	272	gaz
12	CLXXXII	19,4	35,3	2,2	56,9	10	24,6	36,4	11,3	72,3	26,7	+ 2,2	413	gaz
13	CLXXXIII	18,3	37,1	2,2	57,6	10	21,4	36,8	11,4	69,6	16,9	— 0,8	418	gaz
14	CLXXXV	22,8	50,1	2,3	75,2	10	25,2	39,0	10,0	74,2	10,5	— 22,1	335	gaz
15	CLXXXVI	20,2	37,1	1,8	59,1	10	24,7	37,9	9,8	72,4	22,2	+ 2,1	444	gaz

Si maintenant nous passons à l'examen des chiffres qu'il contient, examen que nous facilite l'inspection des colonnes 12, 13 et 14, dans lesquelles se trouvent indiquées les modifications en proportions centésimales du volume des gaz extraits du sang sous pression, nous y voyons au premier coup-d'œil : 1° que l'oxygène et l'azote ont toujours augmenté ; 2° que l'acide carbonique a tantôt augmenté, tantôt diminué.

Ceci peut être mis en évidence sous une forme plus nette, en faisant sur ces différents nombres le calcul suivant.

Nous supposerons que, à la pression normale, le sang contient toujours 20 vol. d'oxygène, 40 vol. d'acide carbonique et 2,2 vol. d'azote; la quantité contenue aux autres pressions se déduira aisément d'une proportion.

Ainsi, pour la première expérience inscrite au tableau, les proportions seront, à 2 atmosphères :

$$O:\ 18,3:20=19,1:x=20,9$$
$$CO^2:37,1:40=37,7:x=40,7$$
$$Az:\ 2,2:2,2=3,0:x=3,0$$

En faisant des moyennes pour les pressions identiques, on arrive à dresser le tableau suivant :

TABLEAU XII.

1 ATMOSPHÈRES	2 OXYGÈNE	3 CO^2	4 Az
1	20	40,0	2,2
2	20,9	40,7	3
3	21,6	37,2	3,9
5 (exp. 4, 5, 6)	22,7	35,7	6
7 (exp. 7, 8, 9, 10). . .	23,1	35,5	7
10	23,4	36,6	9,4

Les résultats de ce tableau sont exprimés d'une manière

très-frappante par les graphiques suivants (fig. 35), où les

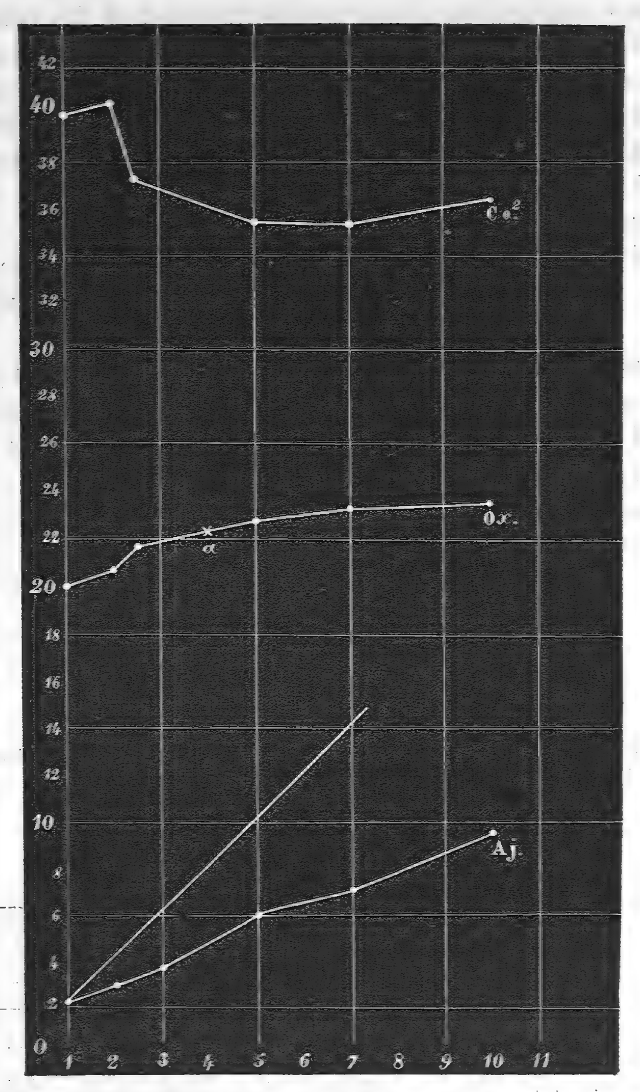


Fig. 35. — Variations des gaz du sang aux pressions supérieures à une atmosphère.

pressions sont portées sur l'axe horizontal, et les quantités de gaz sur l'échelle verticale.

Reprenons maintenant pour chacun des trois gaz du sang

l'examen des faits, en nous servant de la figure et des deux tableaux.

1° *Oxygène.* — Son augmentation, avons-nous dit, est constante. Mais la comparaison des colonnes 5, 8 et 12 du tableau XI, nous montre qu'elle est à la fois très-variable pour une même pression, et très-faible même sous l'énorme pression de 10 atmosphères.

La variété des résultats n'a pas de quoi nous étonner, après ce que nous avons déjà vu en parlant des diminutions de pression, et après les inégalités dont témoignent encore les chiffres si divers de la colonne 3. Il nous est impossible de la rattacher à quelque condition connue; mais elle est fort intéressante à constater, parce qu'elle peut servir à rendre compte de l'intensité, fort variable selon les sujets, avec laquelle agit la compression de l'air.

Quant à la valeur de cette augmentation, il est vraiment fort curieux de voir combien elle est faible. Son maximum, sous une pression de 10 atmosphères, a été de 26,7 pour 100, c'est-à-dire qu'en volume la quantité d'oxygène contenue dans 100^{cc} de sang artériel a passé de $19^{cc},4$ à $24^{cc},6$. Les chiffres relatifs aux pressions intermédiaires déposent dans le même sens. Le tracé Ox et la colonne 2 du tableau XII montrent avec une grande évidence cette lenteur d'augmentation.

Nous avions déjà vu, du reste, par les expériences faites dans l'air dilaté, que l'influence de la pression barométrique, relative à la quantité d'oxygène absorbable, est moindre pour les pressions voisines de 76^{c} que pour celles qui sont beaucoup plus basses. Ainsi, les chiffres de la colonne 14 du tableau X, page 643, montrent qu'en passant de 76 à 56^{c} l'oxygène diminue seulement de 13,6 pour 100, tandis qu'en passant de 56 à 36^{c} il diminue de $43 - 13,6 = 29,4$ pour 100. Aussi le graphique Ox (fig. 31), qui exprime la marche du phénomène, va en se surbaissant aux environs de la pression normale.

Nous pouvons transformer ceci d'une manière plus claire encore dans un autre graphique (p. 36). Prenons pour origine du zéro le vide barométrique, mesurons les pressions

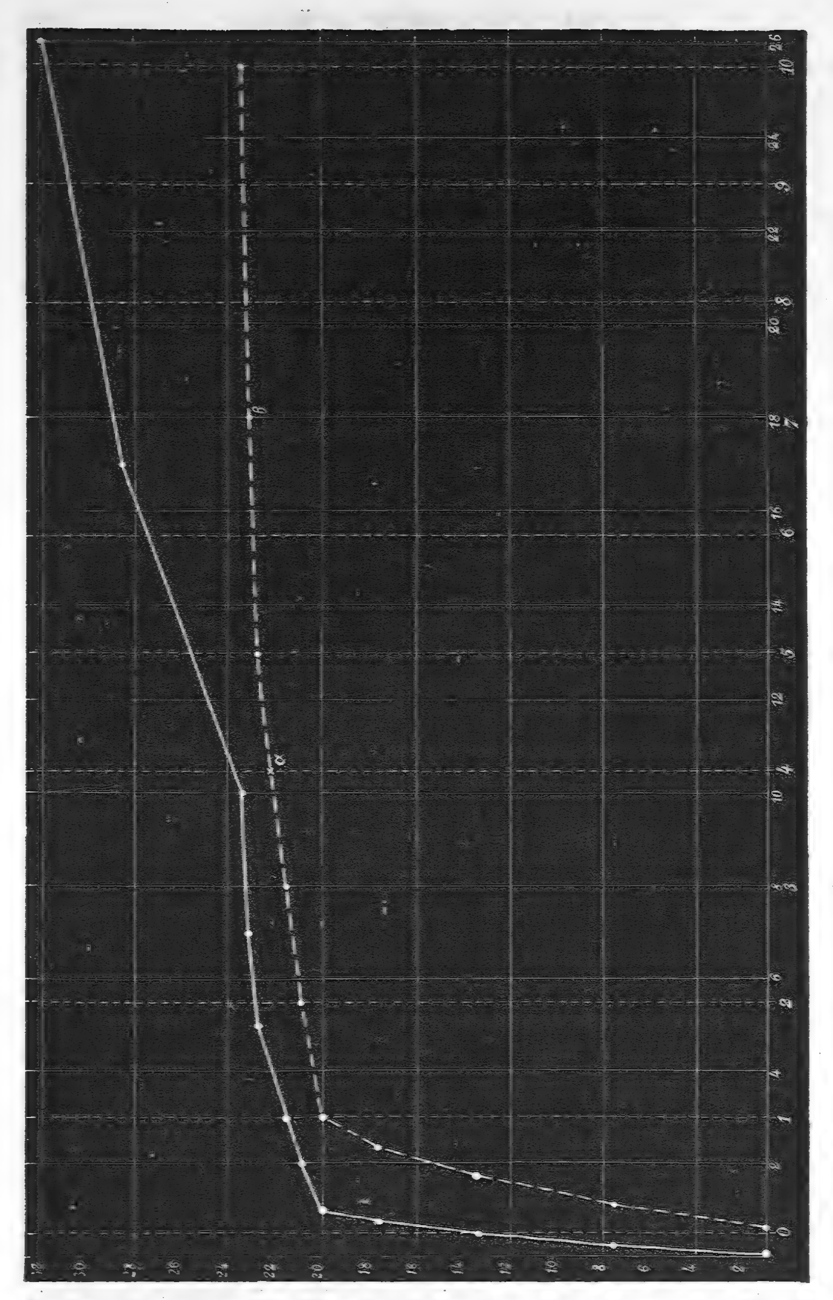


Fig. 36. — Augmentation de l'oxygène du sang artériel de 0 à 10 atmosphères (tracé et ordonnées en pointillé), et de 0 à 26 atmosphères (tracé et ordonnées en trait plein).

en atmosphères sur l'axe des x, et portons sur l'axe des y des valeurs proportionnelles à la richesse en oxygène aux diversespressions, et nous obtenons ainsi une courbe $O\alpha\beta$ (graphique et lignes verticales ponctuées) qui, après avoir monté très-rapidement dans la région de zéro à 1/2 atmosphère, un peu moins dans la région de 1/2 à 1 atmosphère, se surbaisse considérablement au delà.

Les chiffres ne sont pas moins nets ; en admettant que le zéro de l'oxygène corresponde à la dépression mortelle de 7 à 8 centimètres, égale à 1/10ᵉ d'atmosphère, nous voyons, par la combinaison des tableaux X et XI, que :

De 1/10 à 1/4 d'atmosphère, la proportion de l'oxygène a augmenté de.	7,5
De 1/4 à 1/2.	5,7
1/2 à 3/4.	4,3
3/4 à 1.	2,5
De 0 à 1 atmosphère.	20
1 à 2.	0,9
2 à 3.	0,7
3 à 4 } divisant par 2 la différence de 3 à 5 = 1,1. .	0,6
4 à 5 }	0,5
5 à 6.	0,2
6 à 7.	0,2
7 à 8.	0,1
8 à 9.	0,1
9 à 10.	0,1
	23,4

En d'autres termes, ces faits montrent que, dans l'organisme vivant, l'absorption de l'oxygène par le sang augmente très-rapidement pour les pressions inférieures à une atmosphère, mais très-lentement, au contraire, pour les pressions de plusieurs atmosphères. Tout semble indiquer qu'il existe, correspondant aux environs de la pression normale, un point de saturation chimique de l'oxy-hémoglobine, et qu'au delà il ne s'ajoute plus au sang que de l'oxygène dissous dans le sérum, suivant la loi de Dalton. Ceci sera vérifié lorsque je parlerai des expériences faites *in vitro* sur le sang sorti des vaisseaux.

Nous reviendrons en leur lieu sur les réflexions que suscitent ces faits intéressants. Contentons-nous de constater, pour le moment, qu'un ouvrier qui travaille à la pression

de 2 à 5 atmosphères n'a pas beaucoup plus d'oxygène dans le sang qu'à la pression normale. Il y a plus, et ceci n'est pas à négliger pour l'explication de l'inégalité des phénomènes manifestés par les divers ouvriers, j'ai vu des animaux qui avaient normalement dans le sang, à la pression normale, plus d'oxygène que d'autres à 10 atmosphères ; c'est ainsi que, dans les expériences sous pression diminuée, certains de mes chiens avaient, à la pression normale (voy. tableau X, p. 643, exp. 4 et 11), moins d'oxygène que d'autres à une pression de 56 centimètres et même de 44 centimètres (exp. 1, 2, 5, 8).

2° *Acide carbonique.* — Ainsi que le montre le tableau de la page 660 (colonnes 4, 9, 13), tantôt il augmente, tantôt il diminue. Son augmentation est toujours très-faible (au plus 9,2 pour 100, c'est-à-dire, en quantité réelle, 3^{cc},4 pour 100^{cc} de sang) ; sa diminution a été très-forte (jusqu'à 29,7 pour 100, c'est-à-dire 14^{cc},9 pour 110^{cc} de sang). Tout ce que permettent de dire les chiffres, c'est que l'acide carbonique a toujours diminué lorsque sa proportion primitive dépassait 38^{cc} pour 100^{cc} de sang.

Les moyennes, représentées, suivant la convention ci-dessus établie, par la colonne 3 du tableau XII et par le tracé CO^2 de la figure 35, indiquent une diminution irrégulière, il est vrai, mais constante. Cependant, on peut dire qu'il reste établi, comme fait général, que l'augmentation de la pression au-dessus de la pression normale ne modifie pas d'une manière très-considérable la richesse en acide carbonique du sang. Il en était tout autrement, ainsi que nous l'avons vu, pour les pressions inférieures à une atmosphère ; mais déjà, aux environs de 76^{c}, nous avions vu que l'acide carbonique varie peu, et dans les chiffres de la colonne 14, pour la pression de 56^{c}, nous trouvons ceux bien faibles de 2,5 et de 0,8 pour 100. Au contraire, à la pression de 36^{c}, par exemple, le sang contient en moyenne 29,2 pour 100 d'acide carbonique de moins qu'à la pression normale, ce qui correspond à une perte moyenne de 11^{cc},4 pour 100^{cc} de sang.

La conséquence pratique importante de ce fait est que les

accidents observés chez les hommes et les animaux soumis à de hautes pressions ne peuvent en rien être attribués à l'intervention de l'acide carbonique. Nous aurons à revenir sur ce fait.

Que si maintenant nous nous demandons comment il se fait que l'acide carbonique diminue pour les pressions très-basses, sans augmenter pour cela au-dessus d'une atmosphère, la réponse est assez difficile à faire. Je me suis cependant arrêté à l'explication suivante.

Les échanges respiratoires ne se font pas, comme on le dit dans le langage courant, entre le sang des poumons et l'air de l'atmosphère. S'il en était ainsi, cet air, ne contenant que des traces minimes d'acide carbonique, jouerait à l'endroit du sang, par rapport à ce gaz, le rôle du vide, et il n'en resterait dans le sang qu'une quantité très-faible. Mais les échanges se font entre le sang veineux et l'air des vésicules pulmonaires. Or, j'ai trouvé autrefois[1] que cet air, même après une inspiration, contient encore de 6 à 8 pour 100 d'acide carbonique. M. Gréhant[2], qui a fait plus tard la même recherche par un procédé tout différent du mien, est arrivé à un résultat aussi voisin de celui-ci qu'on peut le désirer en semblable matière. C'est donc la présence normale de cette proportion importante de l'acide carbonique dans l'air des alvéoles qui en maintient dans le sang la quantité habituelle; ce gaz se crée ainsi à lui-même son propre obstacle, et l'on conçoit aisément comment une ventilation pulmonaire exagérée, diminuant la proportion du CO^2 dans l'air des alvéoles, la diminue en même temps dans le sang (voy. plus haut, p. 626).

Cet acide carbonique qui demeure ainsi dans les poumons représente l'excès régulier de l'acide carbonique formé dans nos tissus sur celui qui est exhalé par la trachée. Cette quantité ne devra donc pas varier, si rien n'est changé dans les conditions de la nutrition et de la ventilation pulmonaire. Or, ce paraît être le cas lors de la respiration dans l'air com-

[1] *Leçons sur la physiologie de la respiration*, p. 161.
[2] *Comptes rendus de la Société de Biologie pour* 1871, p. 61.

primé, au moins pour ce qu'il y a de grossier et d'apparent dans les phénomènes. Si donc il se produit pendant le même temps la même quantité de CO^2, la quantité qui en restera dans l'air des poumons sera la même; mais comme cette quantité est comprimée, son volume diminue en sens inverse de la pression, et il est clair qu'alors sa proportion centésimale dans l'air des poumons, dont le volume total ne change pas, diminuera de même que le volume. Ainsi, un animal dont l'air des poumons, à la pression normale, contenait 6 pour 100 de CO^2, n'en contiendra que 3 pour 100 à 2 atmosphères, que 2 pour 100 à 3 atmosphères, que 1 pour 100 à 6 atmosphères, etc.

Or, la pression exercée par cet acide carbonique sur l'acide carbonique du sang ayant évidemment comme mesure le produit de la proportion centésimale par la pression barométrique, sera exprimée dans les divers cas plus haut cités : à la pression normale, par $6 \times 1 = 6$; à 2 atmosphères, par $3 \times 2 = 6$; à 3 atmosphères, par $2 \times 3 = 6$, etc , c'est-à-dire que sa valeur reste toujours la même. Il n'est donc pas étonnant que la richesse du sang en acide carbonique ne varie pas non plus.

Mais pourquoi diminue-t-elle lors des pressions très-faibles? Dans ce cas, même raisonnement, mêmes conséquences, ce semble. Mais ici la question se complique. D'abord, si nous supposons l'animal à demi-atmosphère, la proportion de l'acide carbonique du poumon s'élèvera à 12 pour 100; la richesse en oxygène de l'air des vésicules pulmonaires s'en appauvrit ainsi, et l'animal est entraîné à opérer une ventilation plus active qui, diminuant la tension $12 \times \frac{1}{2} = 6$, laisse sortir plus d'acide du sang.

Mais la raison principale est ailleurs que dans la diminution de la pression barométrique; nous verrons, en effet, p. 676, que la richesse en acide carbonique diminue dans le sang par le fait seul de la respiration d'un air moins riche en oxygène. C'est donc dans les conditions chimiques de la formation de CO^2, conditions troublées, qu'il faut chercher la

cause la plus importante de cette diminution. Il en est sans aucun doute de même pour la diminution qui coïncide avec les pressions supérieures à 1 atmosphère.

3° *Azote.* — Pour ce dernier gaz, les choses doivent se passer et se passent, en effet, avec une grande simplicité. Comme il n'entre dans aucune combinaison, sa proportion dans le sang dépend uniquement de la pression ; aussi les colonnes 5, 10, 14 du tableau XI, nous montrent qu'elle augmente considérablement. Nous verrons, en parlant des effets de la décomposition brusque, quelle importance présente cette quantité considérable d'azote.

Cependant, chose curieuse, il s'en faut de beaucoup que l'augmentation suive la loi de Dalton. En effet, à 5 atmosphères, par exemple, nous trouvons dans la colonne 5 le nombre moyen 6, au lieu de 11 qu'exigerait la loi de Dalton ; à 10 atmosphères, celui de 10,4 au lieu de 22. Il y a ainsi environ moitié moins d'azote que ne le voudrait la loi. Cela est très-saisissant dans le tracé Az de la figure 35, où la ligne droite indique ce qu'exigerait la loi.

Ce fait est très-instructif, parce qu'il montre à quel point est incomplète l'agitation intra-pulmonaire, au moins aux pressions élevées. Or, les résultats fournis par l'oxygène déposent dans le même sens. En admettant que l'hémoglobine soit saturée chimiquement d'oxygène aux environs de la pression normale, la quantité d'oxygène dissous devrait être beaucoup plus forte aux pressions élevées que l'expérience ne l'indique. A 10 atmosphères, par exemple, ce n'est pas 23,4 p. 100 qu'il faudrait trouver, mais 29 environ. L'insuffisance du brassement de l'air dans le poumon doit être ici invoquée ; du reste, elle est évidente à la pression normale, puisque du sang extrait de l'artère s'enrichit toujours notablement en oxygène par l'agitation avec l'air. Nous allons voir qu'il en est de même pour les hautes pressions.

Tout ceci peut se résumer dans la phrase suivante : *chez l'animal vivant, lorsque la pression barométrique augmente, l'oxygène augmente dans le sang artériel, mais avec une extrême*

lenteur ; l'azote augmente plus vite, mais pas autant, à beaucoup près, que le voudrait la loi de Dalton; quant à l'acide carbonique, il diminue presque toujours.

SOUS-CHAPITRE IV

GAZ DU SANG DANS L'ASPHYXIE COMPARÉE A LA DIMINUTION DE PRESSION.

Je crois avoir démontré, dans le premier chapitre, que les accidents et la mort dans l'air dilaté sont la conséquence de la faible pression de l'oxygène extérieur, et qu'il s'agit là, en somme, d'une simple asphyxie par privation d'oxygène.

S'il en est ainsi, on doit, dans le sang d'un chien soumis à l'asphyxie, retrouver l'appauvrissement, en gaz, du sang des chiens soumis à la décompression.

Pour vérifier cette hypothèse, deux méthodes se présen-

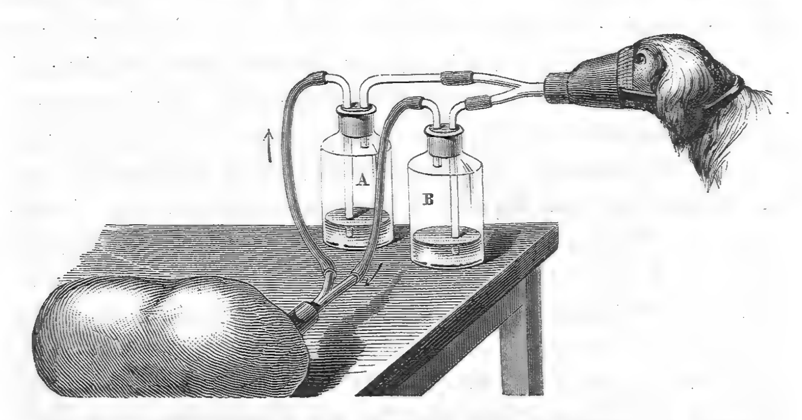


Fig. 37. — Chien respirant de l'air contenu dans un sac de caoutchouc. A, B, flacons à eau potassée formant soupape, et servant à absorber l'acide carbonique.

taient : 1° placer un animal dans un courant d'air de plus en plus pauvre en oxygène; 2° faire épuiser par l'animal une certaine quantité d'air, en se débarrassant, bien en-

tendu, de l'acide carbonique au fur et à mesure de sa formation.

La première méthode m'a paru impraticable. Pour mettre en usage la seconde, j'ai adapté à des chiens une muselière qui communiquait avec un sac contenant de 130 à 150 litres d'air; à l'expiration comme à l'inspiration, l'air barbotait dans une solution de potasse destinée à le dépouiller de son acide carbonique, ce à quoi, pour le dire en passant, il me fut impossible de parvenir complétement : l'air du sac contenait toujours de 1 à 2 pour 100 de ce gaz.

La figure 37 représente la disposition de l'expérience. L'air inspiré et l'air expiré traversent des flacons A et B, où de l'eau potassée fait soupape; en A, le tube qui communique avec le chien se termine dans le haut du flacon; c'est par lui que se fera l'inspiration; en B, il descend et plonge un peu dans le liquide; c'est par celui-ci que se fera l'expiration.

L'expérience ainsi disposée, je prenais de temps en temps des échantillons de l'air du sac et du sang carotidien, pour en faire l'analyse.

Voici les résultats de quelques expériences

Expérience CLXXXVII. — 1er avril : Chien mâtin, pesant 11 kil. Sac contenant 137 litres d'air. Température 15°. Expérience commencée à $2^h 35^m$.

$2^h 36^m$: 16 respirations; 144 pulsations; pression artérielle variant de $12^c,5$ à 17^c; température rectale 39°. Pris 25^{cc} de sang carotidien, rouge-clair; contient pour 100^{cc} : 19 d'oxygène et 48 d'acide carbonique.

L'animal est très-calme et reste très-calme pendant toute la durée de l'expérience.

$2^h 55^m$: respirations, 16; pulsations, 96.

3 heures: Pris air du sac: contient O 18,1; CO^2 0,8.

$3^h 5^m$: respirations, 15; pulsations, 78; θ 39°. Pris 25^{cc} de sang, bien rouge; contient O 17,0; CO^2 49,0.

$3^h 30^m$: respirations, 20, longues; pulsations, 64; pression de 13^c à 20^c; θ 38°,8.

$3^h 35^m$: pris air du sac; contient O 15,9; CO^2 1,0. Pris 25^{cc} de sang, rouge : contient : O 15,0; CO^2 46,5.

4 heures : respirations, 12; pulsations, 52; θ 38°,5.

$4^h 5^m$: air contient O 14,1; CO^2 1,3. Pris 25^{cc} de sang, moins rouge; contient O 13,6; CO^2 46,3.

$4^h 20^m$: pression cardiaque de 11 à 18 cent.

$4^h 30^m$: respirations, 12 ; pulsations, 40 ; θ 38°,2. Air contient O 12,2 ; CO^2 1,7. Pris 25^{cc} de sang; analyse perdue.

5 heures : respirations, 12; pulsations, 40; θ 38°,0.

$5^h 10^m$: air contient O 9,6; CO^2 2,0. Sang 25^{cc}, encore assez rouge, contient O 12,0; CO^2 46,3.

$5^h 20^m$: pression de 12 à 18^c.

$5^h 36^m$: respirations, 12 ; pulsations, 64, très-irrégulières; θ 37°,5. Air du sac contient O 7,1 ; CO^2 2, 2.

6 heures : respirations, 14; pulsations, 104; θ 37°,5. Pris sang, 25^{cc}, assez noir; contient O 7,1 ; CO^2 42,8.

$6^h 10^m$: air du sac contient O 5,9; CO^2 2,1.

$6^h 25^m$: pression cardiaque, de 11^c à 15^c.

$6^h 30^m$: respirations, 20; pulsations, 92, très-irrégulières; θ 36°,6; les expirations deviennent plus brusques; l'animal est encore sensible aux pattes.

$6^h 35^m$: air du sac contient O 4,6; CO^2 2,2. Sang 25^{cc}, noir; contient O 5,0; CO^2 36,7.

7 heures : respirations, 24, avec expirations très-brusques; pulsations, 84; θ 35°. Pattes encore sensibles.

$7^h 5^m$: air du sac contient O 2,7; CO^2 1,9.

$7^h 15^m$: Les phénomènes se pressent rapidement ; le chien vient de devenir soudain insensible à l'œil. Respirations, 4; pulsations, 56; θ 34,5; pression cardiaque, 4^c environ. Pris 25^{cc} de sang, très-noir; contient O 0; CO^2, 20,6.

Dernière respiration à $7^h 17^m$.

Nous reviendrons sur les diverses circonstances de cette observation; mais, nous bornant en ce moment à ce qui regarde les gaz du sang, nous pouvons résumer comme il suit les résultats des analyses :

	L'AIR CONTIENT	100^{cc} DE SANG CONTIENNENT	
	OXYGÈNE	OXYGÈNE	CO^2
Au début	20,9	19	48
Après 1/2 heure	18,1	17	49
— 1 —	15,9	15	46,5
— 1 h. 1/2	14,1	13,6	46,5
— 2 heures	12,2	»	»
— 2 h. 1/2	9,6	12	46,3
— 3 heures	7,4	7,6	»
— 3 h. 20 min.	»	7,1	42,8
— 3 h. 1/2	5,9	»	»
— 4 heures	4,6	5	36,7
— 4 h. 40 min.	2,7	»	20,6

EXPÉRIENCE CLXXXVIII. — 4 avril : Chien pesant 10 kil. 600. Sac contenant 137 litres d'air. Température, 15°. Expérience commencée à $2^h 5^m$.

$2^h 7^m$: respirations, 24; pulsations, 92 ; θ 38°,5 ; pression cardiaque

de 12^c,5 à 18^c,5. Pris 25^{cc} de sang, bien rouge; contient pour 100^{cc}, O 18,2 ; CO^2 50,8.

Un peu d'agitation.

2^h 35^m : respirations, 20; pulsations 100, irrégulières; θ 38°,2. Pris air qui contient : O 17,9; CO^2 0,9.

3^h 5^m : respirations, 18; pulsations, 90; pression cardiaque n'a pas changé, θ 38°. Pris air : O 16,3; CO^2 1,6; tiré 25^{cc} de sang bien rouge; contient : O 16,6; CO^2 47,7.

3^h 35^m : respirations, 18, expirations prolongées; pulsations, 72; θ 37°. L'air contient O 14,8 : CO^2 1,7.

4^h 5^m : respirations, 16; pulsations, 90; pression de 12^c,5 à 17^c,5. Air, O 13,4; CO^2 1,9. Sang rouge, 25^{cc}, contient O 15,9; CO^2 45,1.

4^h 35^m : respirations, 16; pulsations, 112; θ 37°. Air, O 10,4; CO^2 1,7.

5^h 5^m : respirations, 24; pulsations, 94; θ 36°,2. Air, O 8,3; CO^2 2,5. Pris sang, assez noir : O 9,8; CO^2 40,2.

5^h 35^m : air, O 6,2 ; CO^2 1,7.

5^h 50^m : respirations, 28; pulsations, 148; θ 34°. Sang très-noir, 25^{cc}, contient O 6,7; CO^2 37,9.

5^h 58^m : Agitation violente soudaine, après laquelle l'animal retombe, comme vaincu, et reste désormais tranquille.

6^h 5^m : air, O 4,0; CO^2 1,6.

6^h 20^m : pulsations, 68; pression de 8^c à 17^c; sensible aux pattes.

6^h 30^m : respirations, 16; pulsations, 68; θ 34°.

6^h 35^m : air, O 3,0; CO^2 0,8.

6^h 40^m : pris 25^{cc} de sang, très-noir, qui contient : O 0,7; CO^2 25,0.

Les respirations se ralentissent au moment où l'on commence à tirer du sang; elles cessent à 6^h 45^m; je tire aussitôt du sang, qui ne contient pas trace d'oxygène.

En résumé :

	L'AIR CONTIENT	LE SANG CONTIENT	
	OXYGÈNE	OXYGÈNE	CO^2
Au début.	20,9	18,2	50,8
Après 1/2 heure.	17,9	»	»
— 1 —	16,3	16,6	47,7
— 1 h. 1/2.	14,8	»	»
— 2 heures.	13,4	15,9	45,1
— 2 h. 1/2.	10,4	»	»
— 3 h.	8,3	9,8	40,2
— 3 h. 1/2.	6,2	»	»
— 3 h. 3/4.	»	6,7	37,9
— 4 h.	4	»	»
— 4 h. 1/2.	3	0,7	25

Les résultats de ces deux expériences sont traduits sur le graphique ci-après (fig. 38), dont les tracés expriment les variations simultanées de l'oxygène de l'air et des gaz du

sang. Le trait plein est relatif à l'expérience CLXXXVIII; le trait pointillé, à l'expérience CLXXXVII.

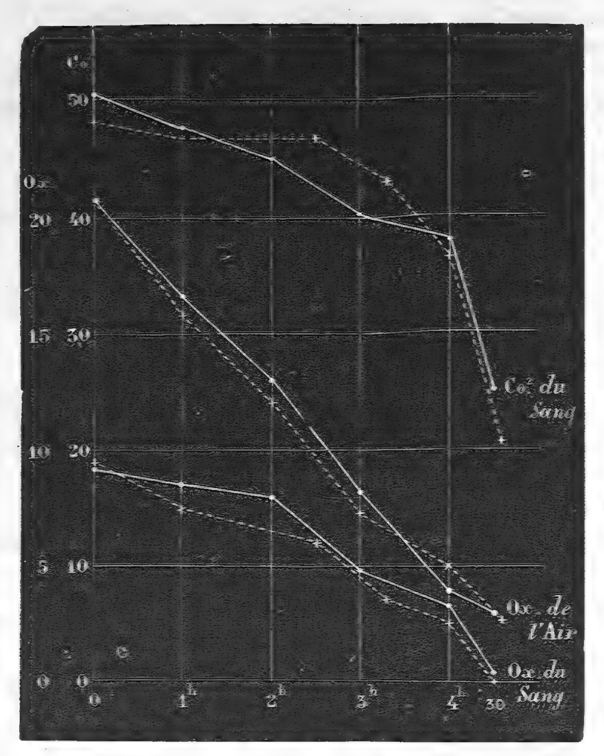


Fig. 58. — Variations des gaz du sang et de l'oxygène de l'air dans l'asphyxie en vases clos, l'acide carbonique étant absorbé : pour donner plus de clarté à la figure, les ordonnées correspondantes à la richesse en oxygène de l'air sont doubles en hauteur des autres.

Voici maintenant une expérience dans laquelle on a, d'emblée, fait respirer à un chien de l'air pauvre en oxygène :

Expérience CLXXXIX. 20 mai. A $3^h\ 30^m$, l'animal respirant l'air ordinaire, à 28 respirations, 136 pulsations; une pression cardiaque de 18 à 20 cent.

Son sang contient : O 21,5 ; CO^2 47,3.

$4^h\ 30^m$: On le met respirer, à travers les soupapes à potasse, dans un sac contenant un air à 10 0/0 seulement d'oxygène; il reste tranquille.

5 heures : respirations, 16; pulsations, 128; pression, 16 à 19^c.

$5^h\ 30^m$: respirations, 16; pulsations, 116. Sang noir, contient : O 5,3; CO^2 45,7.

6 heures : respirations, 16; pulsations, 80; pression de 8 à 13^c.

$6^h\ 30^m$: respirations, 16 ; pulsations, 56.

$6^h\ 45^m$: respirations, 8 ; pulsations, 24.

Meurt à $6^h\ 53^m$; je tire aussitôt avec une sonde 25^{cc} de sang du cœur gauche, qui contient : O 0 ; CO^2 29.

L'air du sac contient 2,5 d'oxygène.

Reprenons maintenant, au point de vue spécial qui nous occupe, les deux expériences CLXXXVII et CLXXXVIII. Le graphique précédent nous montre qu'au fur et à mesure de la diminution de la tension de l'oxygène aérien, l'oxygène du sang diminuait; cela n'est pas bien étonnant, mais il est plus curieux de voir que l'acide carbonique a diminué également, bien qu'il en restât dans l'air du sac une quantité notable qui aurait dû augmenter la proportion de ce gaz.

Que si nous voulons comparer, non plus le sens, qui est bien évidemment le même, mais la valeur exacte de la variation des gaz du sang dans la diminution de pression d'une part, dans l'asphyxie de l'autre, il suffira de reprendre le graphique de la page 645 et de lui ajouter les résultats moyens des dernières expériences, en faisant sur les chiffres la même opération pour ramener à 20 la valeur d'origine de l'oxygène, et à 40 celle de l'acide carbonique.

C'est ce qui a été réalisé dans la figure 39.

Sur les ordonnées, sont comptés, comme à l'habitude, les nombres relatifs aux proportions centésimales des gaz extraits du sang.

Les abscisses mesurent à la fois la proportion centésimale de l'oxygène ambiant et la pression barométrique. Ainsi, 20,9 correspond à 76 centimètres; la demi-atmosphère, 38 centimètres, correspond à $\frac{20,9}{2}$, etc.... ; c'est là ce qui va permettre de voir s'il y a, oui ou non, concordance entre les résultats des deux ordres d'expériences.

Les points relatifs aux diminutions de pression sont marqués, ainsi que nous l'avons déjà dit, par de petits cercles réunis par des traits et des points -.-.o.-.-.-o-.-. Les lignes pointillées .... expriment la moyenne des deux expériences d'asphyxie simple que je viens de relater.

Or, pour l'oxygène, ce qui frappe tout d'abord, c'est la concordance remarquable qui existe entre les deux courbes ;

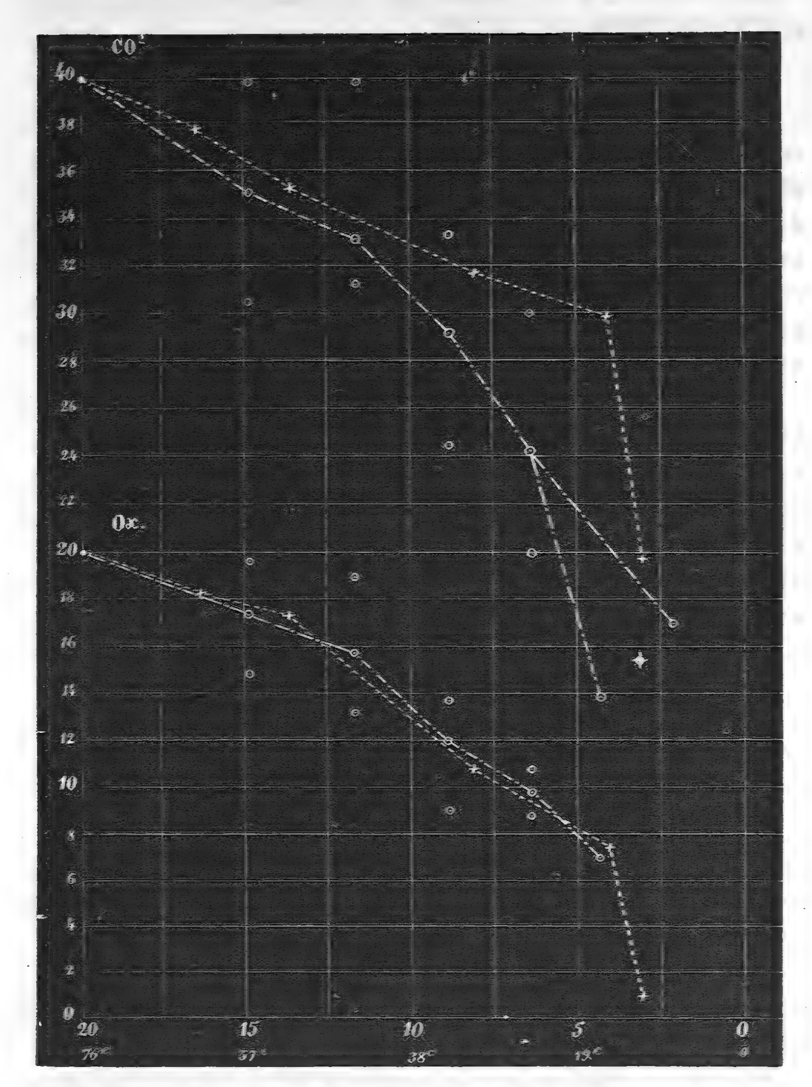


Fig. 59. — Variations des gaz du sang dans l'asphyxie comparée à la diminution de pression.

seulement, pour l'air raréfié, ainsi que je l'ai déjà indiqué, je n'ai pu dépasser 17 centimètres de pression, correspon-

dant à environ 4,7 pour 100 d'oxygène. Voilà un premier point acquis.

Pour l'acide carbonique, la concordance est moins parfaite. Mais il faut faire remarquer d'abord qu'il restait dans l'air en voie d'épuisement une certaine quantité d'acide carbonique sans laquelle le graphique pointillé serait certainement plus abaissé qu'il n'est. De plus, les irrégularités entre lesquelles ont été prises les moyennes reliées par la ligne -o---o-- sont très-fortes, pour l'acide carbonique, comme le montrent les petits cercles isolés, qui correspondent à chacune des expériences. Il est donc probable que d'une très-grande quantité d'expériences on obtiendrait des moyennes qui se rapprocheraient davantage; mais ceci m'a paru peu important à poursuivre.

Le grand intérêt consistait à montrer que, même à la pression normale, mais la proportion de l'oxygène étant faible dans l'air respirable, on retrouve dans les proportions de l'oxygène et de l'acide carbonique du sang artériel les mêmes modifications que lors de la respiration sous pression diminuée. De cet examen, comme de celui auquel nous nous étions livrés dans le premier chapitre, il ressort encore une fois la preuve que la dépression agit comme un simple agent asphyxiant.

Cette vérité établie, il me devenait possible de rechercher comment varient, pendant la décompression, les gaz du sang veineux. J'avais essayé, à plusieurs reprises, d'extraire le sang veineux d'un chien placé dans mes grands cylindres; des difficultés que devineront tous les expérimentateurs m'avaient empêché de réussir : des caillots se formaient dans les sondes, des bulles d'air, que ne combattait plus la pression sanguine, se précipitaient au cœur droit, etc.

Mais la respiration dans un air graduellement appauvri en oxygène venait me permettre de tourner ces difficultés. C'est ce que j'ai fait dans les expériences suivantes :

Expérience CXC. — 30 juillet. Chien pesant 12 kil. Muselière bien hermétiquement fermée.

2^h 5^m : Mis à respirer avec les soupapes à potasse dans un sac contenant 90 litres d'air.

2^h 10^m : respirations, 26 ; pulsations, 100. Tiré à la carotide 25^{cc} de sang, pas extrêmement rouge. . . . . A

2^h 20^m : Tiré à la jugulaire gauche, bout périphérique, 25^{cc} de sang, assez noir . . . . A′

L'animal, dont les yeux sont couverts, reste parfaitement tranquille.

3^h 7^m : 22 respirations; 100 pulsations.

3^h 10^m : Tiré 25^{cc} de sang carotidien, à peu près aussi rouge que A. . B

3^h 15^m : Pris échantillon de l'air du sac . . . . β

3^h 20^m : Tiré 25^{cc} de sang veineux . . . . B′

4^h 10^m : Tiré 25^{cc} de sang artériel, noir. C

4^h 15^m : Pris air du sac . . . . γ

L'animal fait tout à coup un effort violent et détache un instant le caoutchouc du sac (fait *une* inspiration dehors) ; continuation des efforts et anhélation considérable.

4^h 22^m : 25^{cc} sang veineux très-noir . . . . C′

4^h 30^m : 60 pulsations; 18 grandes respirations.

4^h 38^m : se meurt; quelques battements de cœur très-faibles. Tiré sang artériel tout noir . . . . D

Pris air du sac . . . . δ

RÉSUMÉ DE L'EXPÉRIENCE.

AIRS	CORRESPONDANT EN PRESSION A	SANGS.	SANG ARTÉRIEL		SANG VEINEUX		DIFFÉRENCE EN OXYGÈNE
			OXYGÈNE	CO^2	OXYGÈNE	CO^2	
Normal.	c 76	AA′	21,6	45,0	12,4	46,8	9,2
β (11,5 d'O.; 2,0 de CO^2). .	41,8	BB′	19,6	42,7	10,2	49,1	9,4
γ (4,7 d'O.; 2,1 de CO^2). . .	17,1	CC′	8,8	34,4	2,2	36,5	6,6
Mortel δ (2,7 d'O.; 1,9 de CO^2).	9,8	D	0,4	23,6	»	»	»

Expérience CXCI. — 15 octobre. Chienne pesant 13 kil. Respirant à l'air libre : 20 respirations; 148 pulsations ; température rectale, 39°,8.

2^h 50^m : Tiré 25^{cc} de sang par le bout périphérique de la veine jugulaire . . . . A′

2^h 55^m : 25^{cc} de l'artère carotide . . . . A

3 heures : Mis à respirer dans un sac de caoutchouc contenant 130 litres d'air, à travers les doubles soupapes à potasse; l'animal se tient trèscalme, tandis qu'il était fort agité au début de l'expérience.

4 heures : 25^{cc} de sang artériel. . . . . B

4^h 12^m : 16 respirations; 86 pulsations; température, 37°,4.

4^h 15^m : 25^{cc} de sang veineux. . . . . B′

Air du sac . . . . β

Animal fort tranquille.

5h 15m : 25cc de sang veineux. . . . . C′
Air du sac. . . . . γ
Respirations, 16; pulsations, 92; θ 36°.
6h 10m : 25cc de sang veineux. . . . . D′
Air du sac. . . . . δ
Respirations, 16; pulsations, 96; θ 35°,5.
7h 10m : 25cc de sang artériel. . . . . E
25cc de sang veineux . . . . E′
Air du sac. . . . . ε
Respirations, 16; pulsations, 100; θ 35°,1.
La mort arrive à 8h 45m; θ 33°.
Un accident empêche de faire l'analyse du sang.
L'air du sac contient pour 100 O 4,9 ; CO^2 1,2.

RÉSUMÉ DE L'EXPÉRIENCE.

AIRS	PRESSION CORRESPONDANTE	SANGS.	SANG ARTÉRIEL		SANG VEINEUX		DIFFÉRENCE EN OXYGÈNE DU SANG ARTÉRIEL ET DU SANG VEINEUX.	TEMPÉRATURE
			OXYGÈNE	CO^2	OXYGÈNE	CO^2		
	c							
Normal	76	AA′	22,2	29,4	17,2	40,3	5,0	39°,8
β (16,3 d'O.; 1,7 de CO^2). .	59	BB′	16,9	39,0	12,8	39,2	4,1	37°,4
γ (13,6 d'O.; 2,4 de CO^2). .	49	C′	»	»	11,3	43,0	»	36°,0
δ (10,6 d'O.; 3,1 de CO^2). .	38	D′	»	»	8,8	45,8	»	35°,5
ε (7,7 d'O.; 3,0 de CO^2) . .	28	EE′	10,2	34,5	6,0	45,8	4,2	35°,1
Mortel (4,9 d'O.; 1,2 de CO^2).	17		»	»	»	»	»	33°,0

Expérience CXCII. — 13 novembre. Chien pesant 16 kil. Respirant librement : température, 38°,5.

2h 45m : On prend 30cc de sang carotidien. . . . . A

2h 54m : De même 30cc de sang par le bout périphérique de la veine jugulaire. . . . . A′

2h 56m : On commence à le faire respirer dans le sac contenant 130 litres d'air à travers les soupapes à potasse.

3h 40m : Température rectale, 38°.

3h 53m : L'animal est fort gêné dans sa respiration et s'agite depuis quelques minutes. Pris 30cc de sang veineux . . . . B′

4h 5m : Pris 30cc de sang artériel . . . . B

Air du sac . . . . β

4h 15m : Température rectale 36°.

5 heures : Pris 30cc de sang veineux . . . . C′

5h 7m : Id. de sang artériel C

Air du sac . . . . γ

5h 15m : Température rectale, 34°.

5h 20m : Sang artériel 30cc ; animal mourant . . . . D

5h 30m : Sang veineux, l'animal étant mort. . . . . D'

RÉSUMÉ DE L'EXPÉRIENCE.

AIRS	PRESSION CORRESPONDANTE	SANGS.	SANG ARTÉRIEL		SANG VEINEUX		DIFFÉRENCE EN OXYGÈNE DU SANG ARTÉRIEL ET DU SANG VEINEUX.	TEMPÉRATURE
			OXYGÈNE	CO^2	OXYGÈNE	CO^2		
	c							
Normal.	76	AA'	18,0	49,0	14,7	54,0	3,3	38°
β (10,3 d'O.; 0,3 de Co^2).	38	BB'	6,0	42,3	4,7	49,0	1,3	36°
γ (4,7 d'O.; 0,3 de Co^2).	17	CC'	3,7	29,7	2,8	37,0	0,9	34°
A la mort.	»	DD'	0,33	24,0	0,15	28,7	0,18	»

La figure 40 rend encore plus faciles à saisir les résultats de ces trois expériences au point de vue de la variation des gaz du sang; comme de coutume, les quantités de gaz sont mesurées sur l'axe vertical, la richesse en oxygène et la pression barométrique, qui lui correspond, sur l'axe des x. Les résultats de l'expérience CXC sont marqués par des lignes pointillées . . . .; ceux de l'expérience CXCI par des traits - - - - -; ceux de l'expérience CXCII par des traits et des points -·-·-·-

On voit du premier coup d'œil que, dans le sang veineux comme dans le sang artériel, l'oxygène et l'acide carbonique diminuent quand diminue la tension de l'oxygène respiré.

On voit également que la différence dans la richesse gazeuse du sang artériel et du sang veineux reste presque constante jusqu'à ce que l'air soit à peu près à moitié épuisé d'oxygène, c'est-à-dire jusqu'aux environs d'une demi-atmosphère. Au delà, les tracés se rapprochent.

Ainsi, jusqu'à un certain degré, le sang veineux s'appauvrit en oxygène de la même quantité que le sang artériel : ceci mérite quelque attention.

Prenons, par exemple, l'expérience CXC. Au début, le sang artériel contient 21,6 d'O; le sang veineux, 12,4 : différence

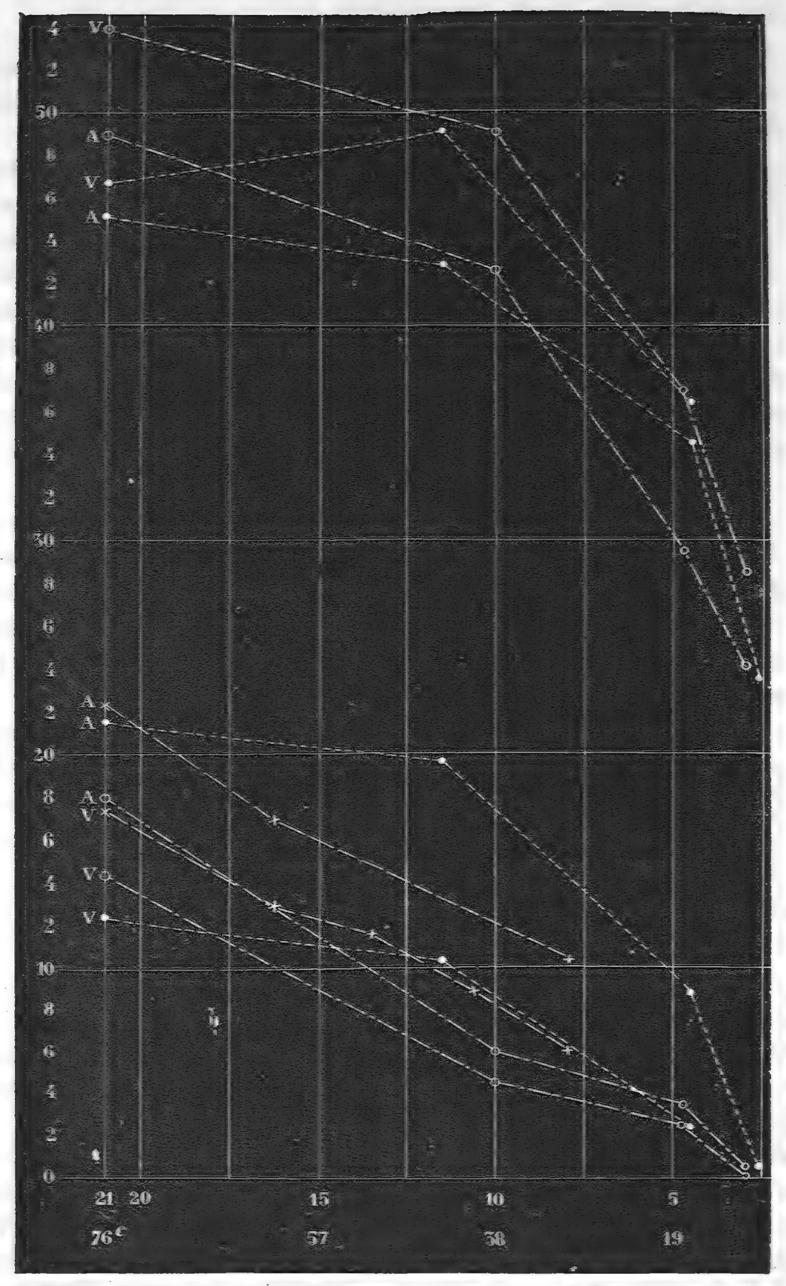


Fig. 40. — Diminution des gaz du sang artériel et du sang veineux quand diminue la tension de l'oxygène respiré : le groupe inférieur correspond à l'oxygène du sang, le supérieur à l'acide carbonique

9,2 ; ce qui veut dire que les tissus avaient besoin pour leur entretien régulier et ont consommé au passage 9,2 volumes d'oxygène par chaque 100 volumes de sang.

Nous nous abaissons à une pression de 41c,8, et, en vertu de la moindre capacité du sang pour l'oxygène à cette pression (voy. plus bas, sous-chap. V), il n'y a plus que 19,6 de ce gaz dans le sang artériel; nous n'en trouvons que 10,2 dans le sang veineux : différence 9,4. La consommation d'oxygène par les tissus est donc restée la même, malgré l'abaissement de la proportion d'O du sang, et l'on comprend que l'animal n'éprouve aucun trouble notable dans ses diverses fonctions : respiration, circulation, etc., comme le montre le récit détaillé de l'expérience.

Mais nous continuons à descendre; la pression n'est plus que de 17c, et dans le sang artériel il n'y a plus que 8,8 volumes d'oxygène. Bien évidemment, la consommation d'oxygène par les tissus n'a pu rester à la même valeur, valeur que nous avons vue être supérieure à 9 ; or, l'analyse du sang veineux montre qu'elle s'est abaissée à 6,6, c'est-à-dire qu'il reste encore dans le sang veineux 2,2 volumes d'oxygène, que ne peuvent extraire facilement les tissus. De là résultent pour l'animal des troubles nutritifs manifestes, un abaissement de la température, une dépression générale des muscles, et notamment du cœur, ce qui ajoute encore à l'effet funeste, en diminuant la consommation de l'oxygène par la diminution de l'activité circulatoire.

La difficulté croissante de la dissociation de l'oxy-hémoglobine du sang veineux quand la proportion d'oxygène y diminue beaucoup paraît être la cause des angoisses de l'animal, qui ne peut plus extraire de son sang la quantité d'oxygène nécessaire pour son équilibre nutritif dans une température donnée. Or, la quantité proportionnelle d'oxygène que consomment les animaux est très-différente d'un individu à un autre, comme le montre, par exemple, l'expérience CXC, où elle est de 9,2, comparée à l'expérience CXCII, où elle est de 3,5. De plus, la quantité absolue d'oxygène contenue dans un volume donné de sang varie singulièrement aussi, comme

nous l'ont appris les nombreuses analyses dont nous avons déjà rendu compte. Enfin, la quantité du sang lui-même paraît également fort variable. Il n'y a donc rien d'étonnant que la manière d'être des divers individus d'une même espèce, et à plus forte raison des représentants d'espèces différentes, soit très-variable en présence d'une même dépression, l'un étant très-impressionné, tandis que l'autre n'éprouvera presque rien. On se rend compte aisément de ceci en supposant deux animaux dans lesquels deux de ces trois conditions seraient identiques, et la troisième fort différente, au contraire; il est inutile d'insister là-dessus, parce qu'on sent une série de combinaisons dont le jeu rend fort complexe le problème et impossible la prédiction certaine de l'éventualité.

Nous aurons à revenir sur ces faits, quand nous en arriverons, dans la troisième partie de l'ouvrage, à l'explication des accidents connus sous les noms de *mal des aérostats* et de *mal des montagnes*.

SOUS-CHAPITRE V

DE LA QUANTITÉ D'OXYGÈNE QUE PEUT ABSORBER, AUX DIVERSES PRESSIONS BAROMÉTRIQUES, LE SANG TIRÉ DES VAISSEAUX.

Les analyses des gaz contenus dans le sang des animaux vivants soumis à des pressions plus basses qu'une atmosphère m'avaient donné, pour l'oxygène, ainsi que je l'ai fait remarquer page 649, des résultats qui diffèrent beaucoup des conclusions qu'on aurait pu tirer des travaux classiques, et particulièrement de ceux de M. Fernet.

Déjà Magnus avait montré que, lorsqu'on place du sang sous la cloche de la machine pneumatique, et qu'on diminue graduellement la pression, les gaz ne commencent à se dégager qu'à des pressions très-basses, et que le sang ne noircit (c'est-à-dire ne perd une partie notable de son oxygène) qu'aux environs de 10^{c} de mercure.

M. Fernet s'était proposé, comme nous l'avons vu dans la

partie historique (page 260), de chercher si les gaz du sang s'y trouvaient à l'état de dissolution simple, ou engagés dans une combinaison chimique. Dans le premier cas, disait-il avec raison, la capacité du sang pour ces gaz doit être proportionnelle à la pression barométrique, suivant la loi bien connue de Dalton. Dans le second, il n'y aura aucun rapport entre cette loi et la proportion absorbée aux différentes pressions. Que si, enfin, un gaz est en partie dissous et en partie combiné dans le liquide, il sera possible, par un calcul assez simple, de déterminer la valeur proportionnelle de ces deux parties.

Or, pour ne parler que de l'oxygène, M. Fernet, en agitant du sang au contact de ce gaz sous des pressions qui ont varié de la pression normale à 647^{mm}, est arrivé à cette double conséquence : 1° qu'il se dissout dans le plasma sanguin une quantité d'oxygène (coefficient de solubilité à 16°, c'est-à-dire volume de gaz dissous par unité de volume de liquide sous la pression normale : 0,0288) à peu près égale à celle qui se dissout dans l'eau pure (coëfficient de solubilité à 16°, d'après Bunsen : 0,0295); 2° que les globules sanguins fixent chimiquement une quantité d'oxygène indépendante de la pression, bien supérieure à la précédente, puisqu'elle est en moyenne de 0,0958 par unité de volume de sang. Nous voyons donc que, d'après ces expériences, la pression barométrique, dans ces modifications diverses, peut à peine modifier la proportion d'oxygène contenue dans le sang. Elle ne pourrait agir, en effet, que sur le gaz simplement dissous, lequel est au gaz combiné dans le rapport de 0,0288 à 0,0958, c'est-à-dire de 1 à 3,3, lorsque les expériences d'absorption sont faites avec de l'oxygène pur. Or, comme le fait remarquer M. Fernet, l'air qui sert à la respiration ne contenant que un cinquième d'oxygène, la proportion dissoute dans le sérum devra être diminuée dans le même rapport; d'où il résulte que, dans le sang, la proportion chimiquement unie, indépendante de la pression, devra être $3{,}3 \times 5 = 16{,}5$ fois plus forte que celle qui suit les modifications de la colonne barométrique. C'est pour cela, conclut-il, « que l'absorption

de l'oxygène est à très-peu près la même, quelle que soit la pression atmosphérique, sur le sommet des montagnes et dans les plaines. »

A cette conclusion qui ne visait que la quantité d'oxygène absorbée par un animal dans un temps donné sous des pressions différentes, et qui se trouvait d'accord avec les faits antérieurement signalés par Regnault et Reiset, Vierordt et Lehmann, les physiologistes en ont ajouté une seconde, — qui paraît tout à fait justifiée, *à priori*, par les travaux mêmes de M. Fernet, — c'est à savoir que, dans le sang de l'animal vivant, les quantités d'oxygène sont à peu près indépendantes de la pression barométrique. « Sans cela, dit, par exemple, Lon-
« get[1], on arriverait à cette conséquence que le sang des ha-
« bitants des régions où la pression atmosphérique est ré-
« duite à moitié renfermerait moitié moins d'oxygène que le
« sang des habitants des bords de la mer, où cette pression
« est de 0m,760. Comment admettre que des observateurs
« n'auraient point été frappés des profondes modifications
« que des variations pareilles ne manqueraient pas de pro-
« duire dans le mode d'existence de ces populations ? »

Cette conclusion et le raisonnement qui lui sert de base furent acceptés par tous les physiologistes. Or, il est fort curieux de remarquer que, lorsque M. Jourdanet vint affirmer, appuyant ses assertions sur une longue pratique médicale, que, dans les régions élevées de la république mexicaine, « le
« mode d'existence des populations est profondément modi-
« fié, » on retourna contre lui l'argumentation même de Longet, et que l'on nia l'exactitude de ses observations comme contraires aux données de la chimie physiologique.

L'explication donnée par M. Jourdanet de l'état pathologique spécial qu'il avait constaté sur les plateaux de l'Anahuac reposait précisément sur la moindre quantité absolue d'oxygène que devait contenir le sang des hommes et des animaux sous une aussi faible pression. Or, nous venons de voir, dans le premier sous-chapitre, qu'il avait absolument raison,

[1] *Traité de physiologie*, 5e édit., t. V, p. 592; 1868.

et que, malgré le légitime étonnement de Longet, il est exact de dire que, si l'on diminue de moitié la pression barométrique, on voit se réduire presque à moitié l'oxygène contenu dans le sang.

Il y avait donc, entre le résultat des observations de M. Jourdanet et de nos expériences, d'une part, et, d'autre part, les conséquences logiques des analyses de M. Fernet, une contradiction qui ne pouvait être qu'apparente, et qu'il s'agissait d'expliquer.

Mais tout d'abord M. Fernet n'avait pu modifier la pression que dans des limites fort étroites; pour le sang considéré dans son ensemble, les pressions avaient varié de 741 à 580 millim. (p. 208). Je dus me demander ce qu'il adviendrait dans des expériences où la pression serait, d'une part, diminuée jusqu'au voisinage du vide, et, d'autre part, augmentée de plusieurs atmosphères.

Le problème était infiniment plus facile à résoudre que du temps de M. Fernet; j'avais, en effet, à ma disposition des moyens d'extraire tous les gaz du sang, que n'avait pu, malgré tous ses efforts, obtenir ce physicien. Il en résulte qu'il avait dû procéder par la mesure directe des gaz absorbés, c'est-à-dire de la diminution de volume des gaz agités avec du sang préalablement dépouillé de ceux qu'il contenait d'abord; série d'opérations très-délicates, qui nécessitaient un outillage très-compliqué, et l'emploi d'appareils de verre ne permettant pas de hautes pressions. Grâce à la pompe à mercure, au contraire, je pouvais, après avoir agité le sang en présence d'une grande quantité d'air, sous des pressions déterminées, en extraire complétement et facilement les gaz dissous. J'ai pu, de la sorte, opérer un grand nombre d'analyses, qui, sans prétendre à la rigueur des secondes décimales, sont très-suffisamment exactes pour atteindre le but que je me proposais.

Je vais en rapporter quelques-unes; mais je dois auparavant remercier M. Gréhant, qui me suppléait alors à la Faculté des sciences de Paris, et qui, à ma prière, a bien voulu exécuter un grand nombre d'entre elles.

§ 1er. — Pressions inférieures à une atmosphère.

Mes premières expériences furent simplement faites en introduisant dans un flacon à large ouverture (fig. 41) une certaine quantité de sang défibriné que j'agitais ensuite vigoureusement, sans fermer complétement le flacon. Lorsque le sang était ainsi saturé d'oxygène, j'attachais le flacon au bout d'une longue ficelle, et le faisais tourner à la façon d'une fronde, manœuvre qui fait sortir très-rapidement les bulles d'air restées en suspension dans le liquide visqueux. Je prenais alors, avec la seringue graduée, une certaine quantité de sang, dont j'extrayais les gaz par la pompe à mercure.

L'ouverture du flacon était alors bouchée avec soin par un bouchon de caoutchouc que traversaient un thermomètre et deux tubes de verre coudés. L'un de ces tubes plongeait dans le sang, dont il permettait de se procurer ensuite des échantillons par l'intermédiaire du robinet R. Le robinet R' du second portait une pièce bifurquée par laquelle s'établissait à la fois la communication en *a* avec la machine pneumatique, et en *b* avec un tube plongeant dans une cuvette pleine de mercure, tube destiné à former baromètre.

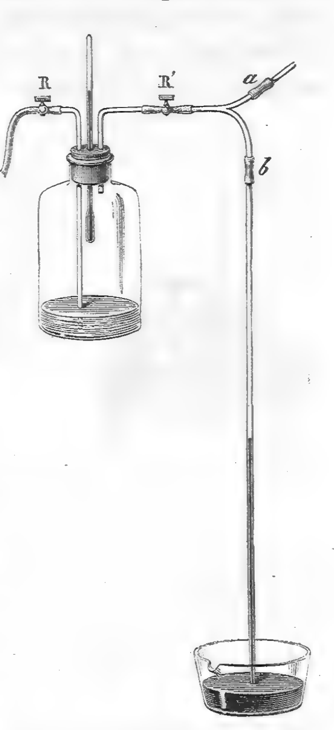


Fig. 41. — Flacon disposé pour la saturation du sang par l'oxygène sous diverses dépressions.

Les choses ainsi disposées, je diminuais la pression jusqu'au point voulu, je fermais le robinet R', j'enlevais le tube bifurqué, et j'agitais vigoureusement le flacon pendant un quart d'heure. Dans ces conditions, l'oxygène qui aurait été

en excès, par rapport à la pression diminuée, pouvait sortir du sang, qui n'était plus saturé qu'à cette pression nouvelle. Le flacon était assez grand, par rapport à la masse du sang, pour que l'oxygène ainsi dégagé fût absolument négligeable. Du reste, je m'assurais, par une manœuvre simple, que la pression n'avait pas varié sensiblement pendant l'agitation.

Ceci fait, je prenais un nouvel échantillon de sang, pour l'analyse des gaz.

Comme j'introduisais dans le flacon environ 200cc de sang, il m'était possible de faire plusieurs analyses, avec le même sang, à des pressions diverses.

Plus tard, un perfectionnement utile fut apporté à cette méthode, dont la cause d'erreur principale réside dans la difficulté d'agiter suffisamment bien avec la main. Le flacon fut solidement fixé sur une planche que mettait énergiquement en mouvement une petite machine à eau (fig. 42). Dans ces conditions, la saturation du sang se fait avec une extrême rapidité, et il suffit de quelques tours de fronde pour faire disparaître ensuite la mousse et les bulles de gaz en suspension.

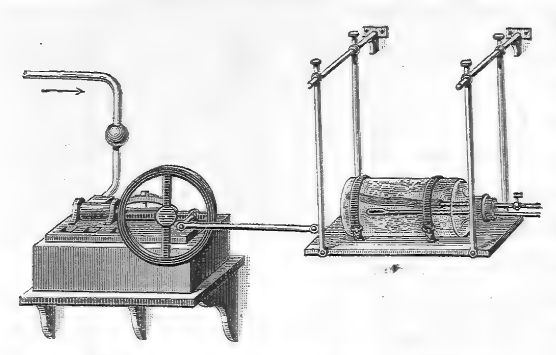


Fig. 42. — Machine à eau agitant le flacon où se trouve le sang à saturer d'oxygène.

Arrivons maintenant aux expériences :

Expérience CXCIII. — 1er décembre. Flacon de 3 litres; 180cc de sang de chien défibriné.

Après agitation à la pression normale, le sang contient pour 100cc de liquide : oxygène 19,0 ; acide carbonique 35,2.

Après agitation à 56c de pression : O 17,2 ; CO^2 28,4 ; Az 2,4.

A 36c : O 16 ; CO^2 27,6; Az 1,6.

A 6c: O 12,4 ; CO^2 23,2 ; Az 1,0.

Expérience CXCIV. — 7 janvier. Sang de chien, agité à 76cc, contenant

pour 100cc de liquide : 25,5 d'oxygène ; 35,7 d'acide carbonique ; 2,3 d'azote.

Agité à la pression de 58c, contenait encore O 23,4 ; CO^2 27,5 ; Az 1,4.

EXPÉRIENCE CXCV. — 9 janvier. Sang de chien affaibli et malade.

Agité à 75c, contient : O 12,3 ; CO^2 41,6 ; Az 2,4. $\frac{CO^2}{O} = 3,4$.

Agité à 34c, contient O 11,3 ; CO^2 41 ; Az 1,4. $\frac{CO^2}{O} = 3,6$.

A 18c : O 10,4 ; CO^2 35,6 ; Az 0,9. $\frac{CO^2}{O} = 3,4$.

A 12c : O 10 ; CO^2 28,7 ; Az 0,6. $\frac{CO^2}{O} = 2,8$.

EXPÉRIENCE CXCVI. — 15 janvier. Sang de chien.

Agité à 77c, contient O 20,2 ; CO^2 28,4 ; Az 2,4. $\frac{CO^2}{O} = 1,40$.

A 34c : O 18,9 ; CO^2 24,9 ; Az 1,3. $\frac{CO^2}{O} = 1,31$.

A 6c : O 17,7 ; CO^2 19,8 ; Az 0,4. $\frac{CO^2}{O} = 1,12$.

EXPÉRIENCE CXCVII. — 21 janvier. Sang de bœuf.
Agité à 770mm, contient : O 19,3.
A 83mm, contient : O 18,5.
A 22mm, — O 13,3.

EXPÉRIENCE CXCVIII. — 2 février. Sang d'un chien soumis depuis plusieurs jours à des hémorrhagies répétées et portant à la cuisse une vaste plaie suppurante.

L'agitation fut faite à deux reprises différentes ; dans l'une, la température était celle du laboratoire, 11°,4 ; dans l'autre, le flacon et la planchette étaient restés immergés dans l'eau à 37°, assez lontemps pour que l'équilibre de température fût établi.

1° Température 11°,4.
A 760mm, le sang contient O 8,1 ; CO^2 27,6 ; Az 2,0.
A 9mm : O 5,1 ; CO^2 17,5 ; Az 0,1.
2° Température 37°.
A 760mm : O 7,9 ; CO^2 23,9 ; Az 1,2.
A 407mm : O 7,1 ; CO^2 22,4 ; Az 0,8.

EXPÉRIENCE CXCIX. — 6 mars. Chien de chasse de forte taille, bien portant ; 500 gr. de sang sont tirés à la carotide, battus à l'air et filtrés sur un linge. Flacon de 2 litres.

Agité pendant une demi-heure à la pression de 775mm (762mm défalcation

faite de la tension de la vapeur d'eau) et à la température de 15°,5, le sang contenait : O 23,2 ; CO^2 30,2 ; Az 2,4. $\frac{CO^2}{O} = 1,30$.

A 349^{mm} : O 22,6 ; CO^2 27,4 ; Az 1,0. $\frac{CO^2}{O} = 1,21$.

A 167^{mm} : O 21,5 ; CO^2 25,1 ; Az 0,6. $\frac{CO^2}{O} = 1,12$.

A 88^{mm} : O 20,0 ; CO^2 21,0 ; Az 0,4. $\frac{CO^2}{O} = 1,05$.

Expérience CC. — 12 mars. Sang de chien ; température 12°. Flacon de 4^{l},330.

Agité à 749^{mm} (défalcation faite de la tension de la vapeur d'eau à 12°), contient :

Oxygène 23,1 ; CO^2 27,5 ; Az 2,6. $\frac{CO^2}{O} = 1,18$.

A 361^{mm} : O 23,0 ; CO^2 22,0 ; Az 2,0. $\frac{CO^2}{O} = 0,95$.

A 99^{mm} : O 22,3 ; CO^2 18,9 ; Az 0,5. $\frac{CO^2}{O} = 0,84$.

A 53^{mm} : O 20,8 ; CO^2 15,4 ; Az 0,2. $\frac{CO^2}{O} = 0,74$.

Expérience CCI. — 29 mai. Sang de chien ; température 24° ; flacon de 4^{l},330.

A 738^{mm} (déduction de la tension de la vapeur d'eau), le sang contient :

O 25,6 ; CO^2 23,0 ; Az 2,6. $\frac{CO^2}{O} = 0,89$.

A 318^{mm} : O 23,7 ; CO^2 18,9 ; Az 1,8. $\frac{CO^2}{O} = 0,79$.

A 128^{mm} : O 23,0 ; CO^2 16,2 ; Az 0,5. $\frac{CO^2}{O} = 0,70$

A 78^{mm} : O 23,0 ; CO^2 13,7 ; Az 0,5. $\frac{CO^2}{O} = 0,59$.

A 38^{mm} : O 19,3 ; CO^2 10,8 ; Az 0,3. $\frac{CO^2}{O} = 0,55$.

Le graphique ci-contre (A, fig. 43) résume et exprime la moyenne des résultats des expériences précédentes, pour ce qui a trait à l'oxygène. Il a été obtenu en supposant que la proportion initiale de l'oxygène, à la pression normale, était toujours de 20 volumes pour 100 volumes de sang, et en déterminant la valeur des autres nombres par des proportions

semblables à celle-ci, qui s'applique à l'expérience CXCIII : 19 (pression normale) : 20 = 17,2 (pression de 56^c) : x = 18,1.

Un simple coup d'œil fait voir que, de la pression normale jusqu'à celle de 10 à 15 centimètres de mercure, le sang ab-

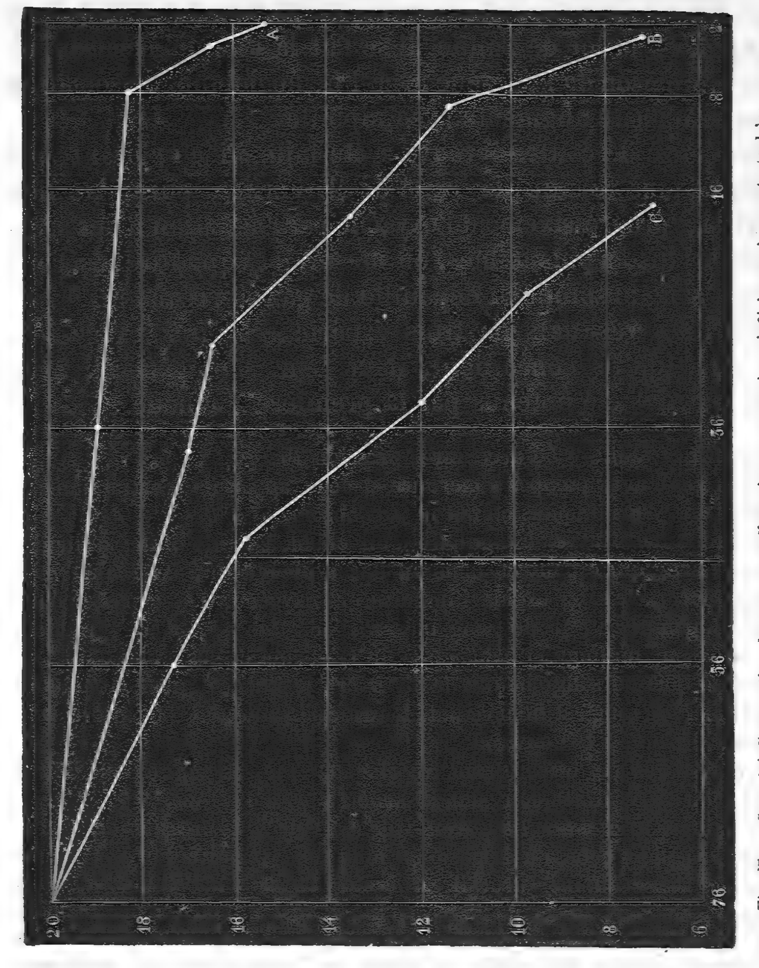


Fig. 45. — Capacité d'absorption du sang pour l'oxygène aux pressions inférieures à une atmosphère.
A. Température du laboratoire. — B. Température du corps. — C. Animaux vivants.

sorbe des quantités peu différentes d'oxygène : un ou deux volumes en moins, et voilà tout. Il est même fort possible que cette différence porte seulement sur l'oxygène dissous dans le plasma, qui s'élève, suivant M. Fernet, à 2,88 pour

100 volumes de liquide. Ainsi, nos analyses, qui vont jusqu'à des pressions considérablement plus basses que celles employées par M. Fernet, donnent des résultats qui déposent dans le sens des conclusions de ce physicien.

Mais à partir de 15 centimètres de mercure et au delà, l'oxygène sort en bien plus grande proportion du sang que ne le voudrait la loi de Dalton. Il se fait là une dissociation de la combinaison de l'oxygène avec l'hémoglobine, dissociation dont l'intensité augmente avec rapidité.

Une sorte de contre-épreuve a éte faite en employant une méthode plus voisine de celle de M. Fernet, puisqu'au lieu d'extraire progressivement l'oxygène par l'agitation à des pressions de plus en plus faibles, on mesurait la quantité absorbée par un sang absolument dépouillé de gaz au préalable.

Voici les résultats de trois expériences ainsi exécutées. On verra qu'ils concordent, dans leur sens général, avec ceux qui ont été obtenus par la première méthode.

Expérience CCII. — 30 décembre; pression 762^{mm}.

On prépare deux pompes à mercure et deux appareils à extraction des gaz du sang, dans lesquels on fait le vide absolu.

On prend dans la veine jugulaire d'un chien, à l'aide d'une seringue, 138^{cc} de sang qui est injecté dans un flacon plein d'air ; agité longtemps dans le flacon, le sang est ainsi défibriné et oxygéné. On fait passer dans l'une des pompes 89^{cc},5 de sang mesuré dans une éprouvette graduée, sang filtré sur un linge et débarrassé de la fibrine et des bulles d'air; on extrait les gaz du sang chauffé de 35° à 39°, jusqu'à ce qu'on entende un choc sourd : le sang est bien réduit. L'extraction faite, on refroidit le sang dans l'eau froide à 10° environ.

L'analyse des gaz extraits montre que 100^{cc} de sang agité dans l'air à la pression d'une atmosphère ont absorbé 19^{cc},8 d'oxygène.

On fait rentrer dans l'appareil vide de l'air à la pression de 1/2 atmosphère; pour cela, on dispose un long tube vertical T (fig. 44) dans lequel on verse du mercure; il est fermé par un bouchon à deux trous traversé par deux tubes de verre. L'un, *a*, est enfoncé dans le mercure, et la partie immergée a une longueur de 381^{mm} moitié de 762^{mm}; il s'ouvre dans l'air et porte un robinet *r*. Le deuxième tube *b*, qui pénètre seulement à la partie supérieure du tube plein de mercure, se recourbe au dehors en un siphon qui vient se fixer par un caoutchouc *c* sur le tube central faisant saillie au centre de la petite cuve à mercure C qui surmonte le robinet R de la pompe à gaz; en tournant ce robinet comme le montre la figure, et en ouvrant

avec précaution le robinet *r*, on fait pénétrer bulle à bulle l'air extérieur à travers le mercure, et lorsque l'air qui est venu au contact du sang possède une pression égale à une 1/2 atmosphère, l'air extérieur cesse de rentrer par le tube *a*.

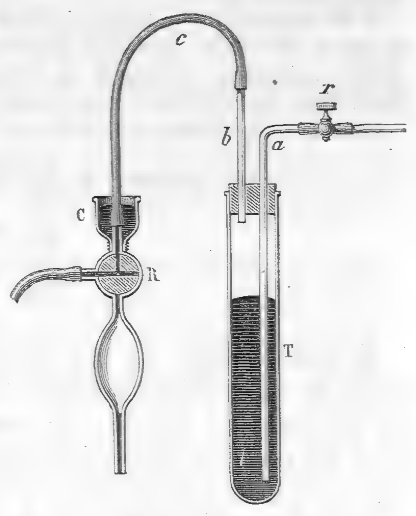


Fig. 44. — Appareil destiné à mettre le sang au contact de l'air sous une certaine diminution de pression.

On agite alors le sang en élevant et en abaissant le ballon de l'appareil à extraction, on agite 25 fois le sang avec l'air et avec du mercure; le sang devient d'un rouge très-vif.

En manœuvrant la pompe, et en tenant élevé au-dessus de l'horizon le ballon contenant le sang, on fait passer ce sang dans la chambre barométrique, puis dans une seringue. On en obtient ainsi 69^{cc}, que l'on fait pénétrer dans la seconde pompe à mercure. L'extraction des gaz donne 14^{cc},5 d'oxygène d'air; soit, pour 100 vol., et après corrections, 19,8, nombre identique au précédent.

Ainsi le sang absorbe exactement la même quantité d'oxygène dans les deux cas.

EXPÉRIENCE CCIII. — 31 décembre.

100^{cc} de sang de chien ont absorbé, sous la pression ordinaire de 760^{mm}, 32^{cc},4 d'oxygène. 100^{cc} du même sang privé d'abord complétement de gaz ont absorbé sous la pression de 24^{mm}, c'est-à-dire à une pression 32 fois moindre, 26^{cc},1 d'oxygène.

EXPÉRIENCE CCIV. — 20 et 21 mars. Chez un chien terrier, bien portant, on prend dans une branche de l'artère fémorale 500^{gr} de sang qui est défibriné par l'agitation dans un flacon.

Dans un grand flacon dont le volume intérieur est égal à 4^{l},335, on fait le vide à l'aide de la machine pneumatique, et on extrait ensuite de l'air avec une pompe à mercure, de manière à amener la pression de l'air qui reste à 2 centimètres environ; on injecte dans le flacon, à l'aide d'une seringue, 68^{cc} de sang complétement privé de gaz par l'extraction des gaz à l'aide d'une pompe à mercure à 40°, et l'on agite le sang avec l'air raréfié pendant 1/2 heure, agitation obtenue à l'aide du moteur hydraulique. Après l'agitation, on mesure la pression de l'atmosphère raréfiée et on diminue la pression trouvée de la tension de la vapeur d'eau à la température de l'air du laboratoire, afin d'obtenir la pression de l'air supposé sec; on trouve seulement 152^{mm}. On extrait les gaz du sang agité avec

l'air possédant seulement cette faible pression, en faisant passer directement le sang du flacon dans une pompe à gaz vide absolument (pesée du flacon avant et après).

2° On injecte dans le flacon, à l'aide de la seringue, 68^{cc} de sang privé de gaz et 68^{cc} d'air; agitation pendant 1/2 heure, etc.... Dans les expériences suivantes, on injecte de même chaque fois 68^{cc} de sang et 68^{cc} d'air. Voici les résultats obtenus après les corrections nécessaires :

100^{gr} de sang d'abord privé de gaz

A la pression de	15^{c}	ont absorbé	7^{cc},3	d'O.
—	29^{c}	—	9^{cc},9	—
—	40^{c}	—	12^{cc},3	—
—	51^{c}	—	13^{cc},2	—
—	756^{c}	—	18^{cc},5	—

Il résulte donc de ces faits que jusqu'à de basses pressions la contradiction signalée entre les expériences faites *in vitro* sur la capacité du sang pour l'oxygène et les analyses du sang des animaux vivants subsiste tout entière, telle qu'elle nous était apparue d'abord. A toutes les pressions, le sang, agité dans un flacon, contient une quantité à peu près égale d'oxygène (tracé A de la fig. 43), tandis que chez l'animal vivant la proportion d'oxygène diminue avec rapidité, comme le montrent le tracé C, qui reproduit le tracé Ox de la fig. 31, et les analyses résumées au tableau X (p. 643).

En présence de cette difficulté, je dus me demander si la température élevée du corps de l'animal n'apporterait pas quelques modifications aux résultats que j'avais obtenus à de basses températures. On savait déjà, en effet, que pour extraire complétement l'oxygène du sang il faut joindre à l'action du vide celle d'une température assez élevée. Qu'on me permette de rapporter ici une expérience qui démontre cette vérité :

Expérience CCV. — 24 juin. 65^{cc} de sang de chien défibriné sont introduits, à 4^{h}, dans le récipient de la pompe à extraction des gaz, où le vide absolu a été fait préalablement. La température n'est que de 19°.

On agite à plusieurs reprises le sang dans le ballon, et on en extrait tout le gaz qui veut venir, mais sans chauffer. On obtient ainsi, pour 100^{cc} de liquide, 11^{cc},2 d'oxygène, 20^{cc},0 d'acide carbonique, et 2^{cc},0 d'azote.

Cette manœuvre est répétée jusqu'à 6^{h}; depuis plusieurs coups de pompe il ne vient plus de gaz, et le sang est resté nettement rouge. On chauffe

le bain-marie à l'ébullition, et alors, d'un seul coup de pompe, on extrait le reste du gaz : le sang noircit aussitôt. La quantité nouvellement extraite représente, pour 100^{cc} de sang : Oxygène 13,2; CO^2 13,0; Az 0,6.

Ainsi le sang contenait en tout : O 24^{cc},4; CO^2 33,0; Az 2,6.

Si l'on eût soumis ce sang aux expériences faites par la méthode précédemment décrite, et que, dans le flacon à agitation, on eût fait le vide complet, à 19°, on aurait encore pu en extraire par la chaleur 13^{cc},2 d'oxygène. La température a donc une importance capitale.

Je disposai donc l'expérience d'une manière un peu différente. Le flacon à agitation, au lieu d'être attaché sur la planchette de la figure 42, fut solidement fixé au-dessous, à une certaine distance, de manière à plonger dans un bain d'eau tiède dont on entretint la température à un degré sensiblement constant pendant toute la durée de l'agitation.

Or, voici les résultats d'expériences faites dans ces conditions :

Expérience CCVI. — 3 juin. Sang de chien; agité pendant 1/2 heure, le flacon de 4^{l},330 étant immergé dans l'eau à 40°.

A 725^{mm} (déduction de la tension de la vapeur d'eau), il contient : Ox : 15,4;

A 280^{mm} : O 13,8;

A 100^{mm} : O 8,5.

Expérience CCVII. — 10 juillet. Sang de chien; agité pendant 20^{m}, le flacon de 4^{l},330 étant immergé dans l'eau à 40°.

A 738^{mm} (avec la déduction habituelle), le sang contient : O 20,1; CO^2 18,8; Az 1,5.

A 290^{mm} : O 16,4; CO^2 13,0; Az 0,6.

A 87^{mm} : O 11,3; CO^2 8,6; Az 0,4.

A 26^{mm} : O 7,2; CO^2 7,0; Az 0,2.

Expérience CCVIII. — 18 février. Sang de chien défibriné, à 38° temp. intérieure. Agitation à la pression normale; le sang contient O 20,2;

A 38^{c} : O 17,7;

A 19^{c} : O 16,4.

Expérience CCIX. — 26 février. Sang de chien défibriné. Agitation à la pression normale; température intérieure du flacon 38°; le sang contient O 18,2; CO^2 10,1;

A 38^{c} : O 14,8; CO^2 6,8;

A 19^{c} : O 10,6; CO^2 7,0.

Ces quatre expériences, quand on prend les moyennes en ramenant les origines des tracés à 20, nous donnent le tracé B de la figure 43.

On voit que la courbe (B) s'incline beaucoup plus rapidement que la précédente (A), et qu'elle se rapproche davantage de celle qui, tirée de la colonne 8 du tableau X, exprime les modifications de l'oxygène chez l'animal vivant, et est ici représentée en C. En d'autres termes, la contradiction signalée diminue beaucoup d'importance quand on se place dans les conditions de température présentée par le corps des animaux à sang chaud.

Cependant il résulte de nos analyses que le sang artériel d'un animal vivant soumis, par exemple, à une demi-atmosphère, pourrait absorber une quantité d'oxygène notablement supérieure à celle qu'il contient en réalité.

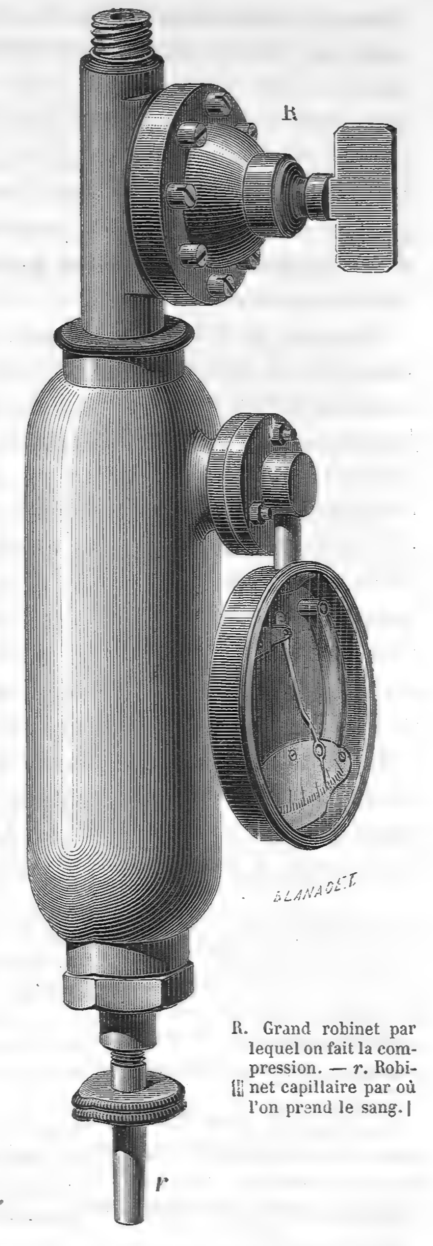
C'est que l'agitation intrà-pulmonaire du sang avec l'air ne se fait plus dans des conditions suffisantes. Déjà, nous l'avons vu, même à la pression normale, le sang artériel n'est point saturé de l'oxygène qu'il peut contenir; il n'y arrive, ou à peu près, qu'à la suite d'efforts exagérés de respiration, qui entraînent une exagération de la rapidité circulatoire. A une demi-atmosphère, il faudrait, pour obtenir le même résultat qu'au niveau du sol, que l'activité du brassement intrà-pulmonaire fût doublée : doubles les mouvements respiratoires en amplitude, en rapidité; doubles les mouvements du cœur, en force et en nombre. Cela est évidemment impossible.

En résumé, les conclusions du travail de M. Fernet ne sont légitimes que dans les conditions de pression et de température (16°) où il s'était placé. A des pressions plus faibles, à la température du corps, la partie de l'oxygène qu'il considère comme chimiquement combinée dans le sang parce qu'elle est indépendante de la pression suit réellement les modifications de celle-ci, bien que notablement moins vite que ne le ferait un gaz simplement dissous. Mais ceci se complique, dans l'organisme vivant, d'une agitation insuffisante

du sang au contact de l'air, d'où résulte une diminution beaucoup plus rapide de l'oxygène du sang que ne l'auraient fait penser les expériences *in vitro*.

§ 2. — Augmentation de pression.

Pour étudier l'absorption de l'oxygène par le sang à des pressions supérieures à celle de l'atmosphère, j'ai fait fabriquer un récipient de bronze, d'une capacité de 175^{cc}, capable de résister aisément à 25 atmosphères (fig. 45). La manœuvre était des plus simples. On introduisait dans l'appareil, dont la partie inférieure pouvait se dévisser, le sang défibriné destiné à l'analyse; j'en mettais ainsi environ 100^{cc}. Puis, le cylindre refermé, j'y comprimais l'air en le vissant à la pompe à compression, et fermais le robinet R quand le manomètre m'indiquait que j'étais arrivé à la pression voulue. J'agitais ensuite l'appareil en le fixant sur la planchette de la fig. 42. Enfin, pour extraire le sang



R. Grand robinet par lequel on fait la compression. — *r*. Robinet capillaire par où l'on prend le sang.

Fig. 45. — Appareil pour saturer d'air le sang à de hautes pressions.

dans la seringue graduée, il me suffisait d'en adapter l'extrémité au robinet capillaire *r* et d'entr'ouvrir celui-ci ; la pression de l'air chassait aussitôt le sang ; on maintenait avec quelques coups de pompe une pression constante dans l'appareil pendant toute la prise de sang. Quand il s'agissait de très-hautes pressions, où l'azote dissous en quantité se dégageait dans la seringue, je substituais la pesée à la mesure d'un volume que la mousse ne me permettait plus de déterminer exactement.

Lorsque je voulais faire une analyse à une certaine compression, je commençais par sursaturer le sang en l'agitant à une pression supérieure, afin d'être sûr, en le ramenant à la pression voulue, qu'il contenait bien tout l'oxygène qu'il pouvait absorber. Si plusieurs analyses, à diverses pressions, devaient être faites avec le même sang, je procédais de même en commençant par la plus élevée ; j'en avais parfaitement le droit, puisque la quantité d'oxygène introduite dans l'appareil sous compression était toujours de beaucoup supérieure à celle que le sang pouvait absorber. Il convient de dire que la pression comptée dans l'expérience était celle qui se lisait après l'agitation et l'absorption terminée.

Un premier point a d'abord été déterminé : c'est que l'augmentation de l'oxygène contenu dans le sang était tout à fait passagère, et disparaissait rapidement quand la compression avait cessé. L'expérience suivante en fait foi :

Expérience CCX. — 20 juin. Sang de chien défibriné.

A la pression normale, après longue agitation, contient O 20,0.

On en introduit 100^{cc} dans l'appareil, et l'on fait la compression à 12 atmosphères, avec du gaz suroxygéné, en telle sorte que la tension de l'oxygène correspond à 44 atmosphères d'air. Après une agitation qui a été insuffisante pour une saturation complète, on trouve dans le sang, pour 100^{cc} : O 37,7.

On recueille alors dans un flacon le reste du sang comprimé, qui est très-rouge et contient beaucoup de gaz en suspension ; le flacon reçoit un tour de fronde, et 10^{m} après la sortie de l'appareil, le sang ne contient plus que 20 vol. d'oxygène, comme au début de l'expérience.

Arrivons maintenant aux expériences faites avec un soin

suffisant pour que la saturation ait été complète ; la pression a été faite avec de l'air ordinaire :

EXPÉRIENCE CCXI. — 20 juin. Sang de chien défibriné.

A la pression normale contenait O :			20,0
A 12 atmosphères en contenait			30,0
A 8	—	—	25,7
A 4	—	—	22,8

EXPÉRIENCE CCXII. — 22 janvier. Sang de chien défibriné.

A la pression normale,	contenait O	20,2
A 18 atmosphères	—	28,2
A 9 —	—	25,9

J'appelle tout particulièrement l'attention sur l'expérience suivante, qui a été faite avec les plus grandes précautions :

EXPÉRIENCE CCXIII. — 12 janvier. On tire à un chien de très-grande taille 500[cc] de sang à l'artère fémorale. Ce sang est défibriné, filtré à travers un linge, puis agité pendant une demi-heure avec de l'air à la pression normale ; il contient 14,9 vol. d'oxygène.

On l'introduit alors dans l'appareil ; à chaque expérience, l'agitation dure une demi-heure. On a trouvé ainsi :

A 6 atmosphères,	O	19,2
A 12	—	26,0
A 18	—	31,1

Discutons les résultats de cette dernière expérience.

Appelons x le volume d'oxygène supposé combiné avec l'hémoglobine contenue dans 100[cc] de sang, volume qui serait, par hypothèse, indépendant de la pression ; appelons y le volume d'oxygène que 100[cc] de sang absorberaient, à l'état de simple dissolution, à la suite d'agitation dans l'air à la pression normale; nous aurons :

A 1 atmosphère		$x + y = 14,9$	(1)
6	—	$x + 6y = 19,2$	(2)
12	—	$x + 12y = 26,0$	(3)
18	—	$x + 18y = 31,1$	(4)

Retranchons (1) de (4), il vient $17y = 16,2$, d'où $y = 0,95$; de l'équation (1) nous tirons alors $x = 14,9 - 0,95 = 13,95$.

En portant ces valeurs dans les équations (2) et (3), nous

trouvons les chiffres 19,6 et 25,4, au lieu de 19,2 et de 26, différences qui sont tout à fait de l'ordre des erreurs d'expérience.

Ainsi l'hypothèse est vérifiée, et, au-dessus de 1 atmosphère, la pression n'ajoute plus au sang que de l'oxygène dissous, dont la proportion croissante suit la loi de Dalton.

Si donc nous prenons 20 comme proportion moyenne d'oxy-

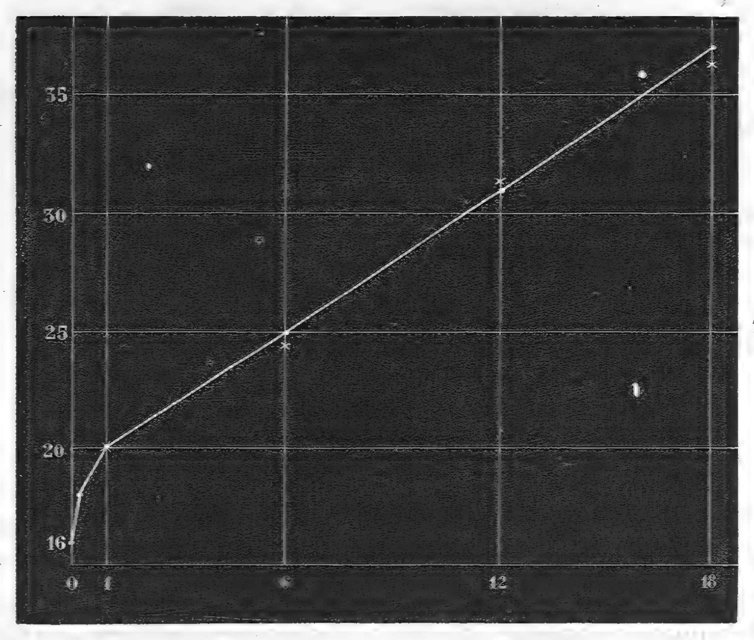


Fig. 46. — Capacité du sang pour l'oxygène, depuis le vide jusqu'à 18 atmosphères d'air.

gène contenu dans le sang à la pression normale, et si nous supposons, pour faciliter le calcul, qu'il y en ait 1 volume de dissous, nous trouverons que, à 6 atmosphères, il devra y avoir 25 volumes; à 12 atmosphères, 31 volumes; à 18 atmosphères, 37 volumes.

Ces derniers résultats sont marqués au graphique de la figure 46 par les points dont la série forme naturellement une ligne absolument droite. Or, si nous avions dessiné à

la même échelle le tracé de l'expér. CCXIII, et que nous en eussions ensuite remonté l'ensemble jusqu'à amener son point d'origine (14,9) sur la ligne marquée 20, les quatre points de ce tracé se trouveraient représentés par les petites croix du graphique. On voit combien ils approchent des points théoriques.

On a ajouté entre 1 atmosphère et le vide une réduction du tracé A de la figure 43, qui complète la vue d'ensemble de la capacité du sang pour l'oxygène, depuis les plus basses jusqu'aux plus hautes pressions.

J'ai dû me demander si pour les pressions élevées la température amènerait quelque différence importante dans la capacité du sang pour l'oxygène. Les expériences que je viens de rapporter ayant été exécutées à la température du laboratoire, j'en ai fait une autre en agitant le sang dans un bain maintenu à 40°. Comme les résultats ont concordé avec ceux qui précèdent, je n'ai pas cru devoir multiplier les faits.

Voici l'expérience :

Expérience CCXIV. — 15 janvier. 300 grammes de sang artériel sont tirés à un chien de grande taille, défibrinés et filtrés sur un linge.

J'en introduis 130 grammes dans l'appareil de la figure 45; je comprime l'air à 22 atm., et je fais agiter le sang et l'air pendant une demi-heure, l'appareil baignant dans l'eau à 40°.

J'abaisse la pression à 18 atm., et cinq minutes après, je recueille 28 grammes de sang. . . . . A

La pression étant abaissée aussitôt à 12 atm., j'agite encore et recueille 33 grammes de sang. . . . . B

Semblable manœuvre me donne, à 6 atm., 41 grammes de sang. . . C

Enfin, à la pression normale, il me reste encore 20 grammes de sang. D

L'analyse par la pompe montre que :

A (18 atm.)	contient, pour	100 vol. :	O 33,7;	Az. 19,2
B (12 —)	—	—	30,9	15,1
C (6 —)	—	—	27,1	7,8
D (1 —)	—	—	23,0	1,3

En opérant sur ces chiffres les calculs qui viennent d'être appliqués à l'expérience CCXIII, nous trouverions pour le coefficient de dissolution de l'oxygène 0,75 et pour les valeurs

de B et de C 31,2 et 26,7. L'écart entre le calcul et l'expérience est donc de l'ordre des premières décimales, ce qui ne saurait nous émouvoir.

Ainsi, à la température du corps, comme à celle du laboratoire, lorsqu'on augmente la pression, l'augmentation dans la proportion de l'oxygène suit la loi de Dalton.

D'autre part, si nous nous reportons à ce qui a été constaté directement chez l'animal vivant (fig. 36, ligne pleine, p. 664), nous voyons que la quantité d'oxygène contenue dans le sang est notablement inférieure à sa capacité maximum *in vitro*.

Cela doit tenir en partie à ce que l'oxygène simplement dissous dans le sérum tend à pénétrer aussi par simple dissolution dans tous les liquides organiques et les tissus que baigne le sang, jusqu'à ce qu'il s'établisse entre eux et ce sérum un équilibre de dissolution.

Le ralentissement des mouvements respiratoires et de la circulation du sang, si facile à constater aux hautes pressions chez les animaux à sang froid, vient certainement aussi concourir à diminuer la quantité d'oxygène qui devrait s'introduire dans le sang, en modifiant les conditions de l'agitation aéro-sanguine qui se fait dans les poumons. Il y aurait là, de la part de l'organisme, une lutte pour l'équilibre, s'opérant en sens inverse de celle sur laquelle nous avons insisté plus haut.

Si nous nous reportons maintenant à cette observation faite plusieurs fois déjà que le sang, dans les conditions de la respiration normale, n'est jamais saturé de l'oxygène qu'il peut absorber, on concevra que, l'augmentation de pression introduisant un peu plus d'oxygène dans le sang, cet oxygène devra être d'abord rapidement condensé par les globules sanguins, en telle sorte que l'hémoglobine du sang arrive à s'en saturer tout entière avant qu'il en reste une plus forte proportion dans le sérum.

Mais au point de vue chimique pur, les faits que je viens de rapporter présentent un intérêt nouveau quand on les rapproche de ceux qu'ont récemment signalés MM. Risler et

Schützenberger[1]. Selon ces chimistes, le sang, ou, pour mieux dire, l'hémoglobine à laquelle on a enlevé tout l'oxygène possible par l'action du vide ou de l'oxyde de carbone, en contiendrait encore une quantité à peu près égale à celle qu'elle vient de perdre.

Il y aurait donc ici une sorte de *protoxy-hémoglobine*, que le vide même aidé de la chaleur, que l'oxyde de carbone, ne sauraient réduire, et une *deutoxy-hémoglobine*, à laquelle le vide et l'oxyde de carbone pourraient enlever son second équivalent d'oxygène. Au delà, l'hémoglobine, complétement saturée, ne saurait plus prendre d'oxygène, dont la proportion augmenterait seulement par simple dissolution dans le sérum ambiant. Cela rappelle singulièrement le mode d'union de l'acide carbonique avec les bases alcalines, dont les *proto-carbonates* sont indécomposables par le vide, tandis que les *deuto-carbonates* perdent aux très-faibles pressions barométriques leur second équivalent d'acide, comme on le sait depuis les travaux d'H. Rose. Le sang complet se comporterait donc vis-à-vis de l'oxygène, comme le fait une solution de bicarbonate de soude vis-à-vis de l'acide carbonique. Dans l'un et l'autre cas, il se trouve 1° en dissolution dans l'eau et sa proportion peut y être indéfiniment augmentée suivant la loi de Dalton ; 2° en union facile à dissocier par le vide aidé de la chaleur ; 3° en union inattaquable par le vide et la chaleur.

Ce rapprochement est très-saisissant lorsqu'on fixe son attention sur la manière dont ce gaz sort du sang quand on agite ce liquide avec l'air à diverses pressions barométriques.

L'agitation du sang avec l'air pur, à la pression normale, ne lui enlève que très-lentement une partie de son acide carbonique, sans pouvoir l'en dépouiller complétement. Si l'air est dilaté, la sortie de l'acide se fait un peu plus vite. Cependant les expériences qui viennent d'être ci-dessus rapportées (p. 688 et suiv.) montrent que, même à d'assez basses pressions, le sang ne perd pas rapidement son acide carbonique.

[1] *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. LXXVI, p. 440 ; février 1873.

Cependant ce gaz sort du sang en proportions un peu plus considérables que ne le fait l'oxygène; aussi voit-on le rapport $\frac{CO^2}{O}$ diminuer de valeur au fur et à mesure que la décompression augmente (expér. CXCIX, CC et CCI).

D'autre part, en faisant un vide progressif sur du sang placé dans la pompe à mercure, je n'ai vu l'acide quitter le sang en proportions notables qu'à de très-basses pressions, à peu près en même temps que l'oxygène. En d'autres termes, les bicarbonates et les phospho-carbonates alcalins se comportent aux environs du vide comme la deutoxy-hémoglobine dont je parlais tout à l'heure.

CHAPITRE III

PHÉNOMÈNES PRÉSENTÉS PAR LES ANIMAUX SOUMIS A DES PRESSIONS INFÉRIEURES A CELLE DE L'ATMOSPHÈRE.

Les phénomènes présentés par les animaux soumis à la diminution de pression sont précisément ceux qui ont été signalés chez les voyageurs en montagne et les aéronautes; j'ai cependant quelques détails intéressants à ajouter à ce qui est connu déjà. Mais je ne fais nulle difficulté d'avouer que, ces phénomènes étant d'ordre purement descriptif, leur analyse exacte m'a paru ne devoir être faite qu'après une étude suffisamment approfondie de leur cause; l'intérêt était évidemment d'ordre inférieur.

Cependant, je crois devoir rapporter ici les détails de quelques expériences. Il sera plus facile ensuite d'en analyser les phénomènes en les groupant autour des principales fonctions physiologiques. Mais les conclusions que nous en tirerons s'appuieront également sur les expériences nombreuses exposées au 1er sous-chapitre du chapitre Ier, et au 2e sous-chapitre du chapitre II, expériences qu'il m'a paru au moins inutile de raconter à nouveau ici.

Après l'exposé de ces symptômes, j'en ferai la comparaison avec ceux que présentent les animaux asphyxiés en vase clos à la pression normale; je déduirai ensuite de tous ces faits la

méthode qu'il faut employer pour se mettre à l'abri des accidents de la décompression, et je ferai le récit des expériences exécutées suivant cette méthode sur les animaux et même sur l'homme.

SOUS-CHAPITRE PREMIER

ACCIDENTS DE LA DÉCOMPRESSION.

Expérience CCXV. — 2 mars. — Petit Chien, mis dans le grand cylindre.

2h 5m. Pression normale : 16 respirations.
2h 15m. 40c de pression : 16 —
2h 20m. 26c — 24 —
2h 26m. 22c — 40 — se couche ; les respirations sont dicrotes; il respire d'abord par le thorax, puis l'abdomen se soulève.
2h 36m. 20c de pression ; 44 respirations.
2h 42m. 19c — 36 —
2h 47m. 18c — 40 —
2h 55m. On ouvre un peu le robinet de rentrée d'air; la pression remonte à 21c, les respirations tombent à 30. Puis on referme le robinet.
A 3h la pression n'est plus que de 19 ; les respirations sont restées à 30.
A 3h 5m, 18c de pression; les respirations tombent à 28.
3h 10m. Pression 22c; respirations 18.
3h 14m. — 23c; — 16.
3h 16m. — 25c; — 14.
3h 18m. Retour à la pression normale.
3h 24m. Respirations 14.
L'animal se porte bien.

Expérience CCXVI. — 21 mars. Chien épagneul de grande taille, mis à 3h dans le grand cylindre à dépression. Sa température rectale est 38°,5. A 4h 58m, la pression n'est plus que de 25c. On ramène rapidement la pression normale; la température de l'animal s'est abaissée à 36°,5.

Expérience CCXVII. — 2 avril. Chienne bull-dog, ayant eu déjà quelques opérations ; attachée dans le même appareil.

4h 40m, à la pression normale 24 respirations, 125 pulsations, température rectale 39°.
4h 45m, pression 46c, 24 respirations, 110 pulsations.
4h 55m, pression 36c, 22 respirations, 100 pulsations.

5h 5m, la pompe s'arrête et l'air revient à la pression normale : 20 respirations, 120 pulsations.

On a mis à nu l'artère fémorale autour de laquelle a été placé un fil de cuivre qui en indique les mouvements et permet ainsi d'en compter les pulsations.

5h 35m, la pompe, remise en marche, a ramené la pression à 46c : respirations, 18, pulsations 104.

5h 45m, pression 36c, respirations 24, pulsations 100.

6h 15m, pression 41c, respirations 18, pulsations 100.

6h 20m, pression normale; la température rectale est 38°,8.

Expérience CCXVIII. — 23 avril. Chien, sous la peau duquel ont été injectés 5 centigrammes de chlorhydrate de morphine.

Mis à 4h 30m dans le grand cylindre, avec un manomètre dans l'artère fémorale gauche.

Il a alors 20 respirations et 126 pulsations.

A 4h 32m, la pression est à 60c; il y a 24 respirations et 120 pulsations.

A 4h 35m, la pression est à 45c : 33 respirations; 184 pulsations.

A 4h 40m, la pression est redevenue normale; les respirations sont tombées à 24 et les pulsations sont restées à 160.

On ne peut apprécier exactement la tension artérielle à cause des caillots.

Expérience CCXIX. — 27 mai. Chien, attaché dans le grand appareil, avec fémorale mise à nu, et cardiomètre dans l'artère.

5h 40m. — Pression normale : 30 respirations; 134 pulsations; pression cardiaque, de 16 à 18c.

A 5h 55m. — Pression 36c; 60 respirations; l'animal s'est agité par instants.

A 6h 5m. — Pression 26c; 70 respirations inégales. On ouvre la communication de l'artère avec le manomètre; le mercure monte et oscille entre 16 et 18°. Les pulsations sont de 160 à 180 par minute.

Retour à la pression normale en 5m; 20 respirations. L'animal revien rapidement à l'état normal.

Expérience CCXX. 22 avril. — Chat amené à 2h 30m rapidement à 26c de pression, sous courant d'air. Ne peut demeurer debout, se couche en miaulant.

5h 20m, 33 respirations.

3h 30m, ramené à 36c parce qu'il paraît trop malade.

5h 30m, est toujours resté couché en rond.

Retiré à 6h; n'a pas uriné.

Maintenu sous cloche; mais à la pression normale, sous courant d'air continu.

23 avril; 10h du matin, retiré. Il a uriné; son urine ne contient pas de sucre.

Se remet très-bien.

Expérience CCXXI. — 14 mai. — Chat pesant 3k,500. Sous la peau 10 centig. de chlorhydrate de morphine. On le place sous une grande cloche de verre, mesurant 31l; son artère fémorale a été mise à nu, et un fil de cuivre passé autour indique les battements. L'animal reste assez tranquille tout le temps de l'expérience.

A 4h 30m, à la pression normale, a 25 respirations; 105 pulsations.

On commence alors la diminution de pression, en ménageant un courant d'air faible, mais suffisant pour maintenir la pureté chimique de l'air de la cloche.

A 4h 50m, la pression est de 56c; il y a 40 respirations et 120 pulsations.

A 5h 10m, pression 46c : R. 40 ; P. 120.

A 5h 20m, pression 36c : R, 48; P. 132.

A 5h 30m, pression 26c; l'animal est fort gêné, affaissé avec des soubresauts convulsifs fréquents; il bave : R. 56; P. 140.

La pression descend lentement à 20c; l'animal est haletant, présente des mouvements convulsifs généraux, et meurt à 5h 45m.

Les poumons sont revenus sur eux-mêmes, sans crépitation; emphysème superficiel; pas d'apoplexie pulmonaire.

Sang noir dans le cœur gauche.

Expérience CCXXII. — 28 février. Température 13°

Trois lapins de même portée sont placés à 2h sous de grandes cloches, sur l'appareil de la figure 15 (p. 528). On entretient un courant d'air sous diverses pressions.

A : le lapin pèse 770 gr. ; la pression est maintenue entre 70 et 76 cent.

B : pèse 770 gr. ; la pression oscille entre 45 et 50 cent.

C : pèse 840 gr. ; la pression oscille entre 38 et 40 cent.

A 2h 1/2, on compte, pour le lapin A, 70 respirations par minute; 80 pour B; 120 pour C.

On les retire à 6h, sans qu'ils aient présenté aucun phénomène remarquable.

La température de A est 39°,5; celle de B et de C, de 38° seulement.

Le 3 mars, on recommence l'expérience avec les mêmes résultats. Le lapin B, qu'on pousse jusqu'à 36c, présente alors quelques mouvements convulsifs, qui ne durent pas. Il urine sous la cloche : cette urine ne contient pas de sucre.

Expérience CCXXIII. 18 mars. — Lapin sous grande cloche de 31l.

3h 15m, est depuis un quart d'heure sous un courant d'air à pression diminuée; il est resté parfaitement tranquille, avec 94 respirations, la pression étant 56c.

3h 20m, pression 46c, respirations 86.

3h 25m, pression 42c, respirations 66.

3h 30m, même pression, respirations 64;

3h 38m, pression 35c, respirations 70.

3h 50m, pression 15c, 90 respirations.

3h 53m, pression 16c, 45 respirations peu profondes.

Meurt à 4h. On laisse rentrer l'air; l'animal qui était gonflé, s'affaisse. Sang noir dans le cœur gauche; quelques ecchymoses pulmonaires.

Expérience CCXXIV. — 20 mars. Lapin de 2l,7, sous la grande cloche; température 20°.

Mis à 2h 26m sous courant d'air à pression diminuant.

2h 30m, pression 56c, 105 respirations.

2h 36m, pression 41c, 99 respirations.

Il se produit une fuite, l'air rentre, et la pression retombe à 0°; 81 respirations.

2h 46m, la pression est revenue à 50c; 138 respirations.

2h 50m, pression 44c, 105 respirations.

2h 54m, pression 36c, 120 respirations.

3h 10m, 27c, 102 respirations.

Reste entre 27 et 24c jusqu'à 4h 18m; respirations 84.

L'animal maintenu à la même pression s'agite violemment à 6h 20m, tombe sur le dos, fait 3 ou 4 grands mouvements respiratoires, puis reste immobile, meurt.

La température intérieure de la cloche est 20°; celle du lapin 32°.

Expérience CCXXV. — 22 mai. Lapin libre dans grande cloche de 31l.

Au début 56 respirations.

L'animal est mis rapidement à 56c, et on l'y laisse 20 minutes; ses respirations passent à 60.

On descend à 36c; les respirations s'élèvent à 100. Mais l'animal reste tranquille, sans gêne apparente.

On passe à 26c, à 22c, sans que le lapin semble sérieusement incommodé. A 16c, les troubles apparaissent. A 12c, il s'agite avec violence, est pris de convulsions générales et meurt en une minute.

Les poumons sont le siége d'une forte congestion, avec points hémorrhagiques, et emphysème disséminé. Leur densité est très-augmentée, bien qu'ils surnagent encore.

Expérience CCXXVI. — 23 mai. Lapin. Même cloche, mêmes dépressions, mêmes résultats généraux.

Expérience CCXXVII. — 10 mars. — Température 15°. Cochon d'Inde pesant 320 gr.; placé dans cloche de 27l. A 2h 50m, j'ouvre le robinet de communication entre cette cloche et un grand cylindre où la pression a été extrêmement diminuée; instantanément la pression de la cloche tombe à 16c. L'animal n'en paraît pas souffrir. 129 respirations.

La cloche ne fermant pas très-bien, la pression remonte lentement.

A 3h 13m., elle est à 21c; l'animal a 104 resp. J'ouvre alors le robinet; la pression s'abaisse à 17c; l'animal tombe sur le flanc, et se relève presque aussitôt : respir. 112.

A 3^h 32^m, pression 19^c, respir. 120 ; animal tranquille.

A 3^h 35^m, 3e ouverture du robinet ; la pression descend à $16^c,5$, un peu de titubation.

A 3^h 42^m, la pression est remontée à 18^c. 4e ouvert. du robinet ; elle tombe à $13^c,5$; le cochon d'Inde tombe sur le flanc, avec 108 respir.

A 3^h 45^m, 14^c ; 78 respir. ; sur le flanc.

A 3^h 51^m, pression remontée à 17^c. 5e ouverture du robinet ; revient à $11^c,5$; l'animal, qui s'était un peu relevé, se couche lentement ; 36 respirations.

A 3^h 55^m, pression 13^c ; 69 respir. ; sur le flanc.

4^h 1^m, pression $14^c,5$; 92 respir. ; assez bien revenu.

A 4^h 5^m, la pression, qui était remontée à $15^c,6$, s'est abaissée subitement à $13^c,5$. L'animal, qui était sur ses pattes, ne paraît pas s'en apercevoir ; 96 respirations.

A 4^h 8^m, pression $14^c,7$. Respir. 90. Secousses fulgurantes dans les pattes, le peaussier, la tête ; à partir de ce moment jusqu'à la fin, elles vont en augmentant.

4^h 13^m, 16^c ; 93 respir.

4^h 15^m, 6e ouverture du robinet ; la pression retombe à $13^c,5$; un peu plus de secousses, mais l'animal reste sur ses pattes ; les respirations montent à 108.

4^h 21^m, pression 15^c ; respir. 85.

4^h 30^m, pression 16^c ; respir. 90 ; 7e ouverture du robinet ; pression $11^c,5$; l'animal, qui était accroupi, relève deux fois la tête, puis se couche lentement. Les secousses fulgurantes cessent pendant quelques minutes.

4^h 33^m, pression 13^c ; respir. 52.

4^h 39^m, pression 15^c ; l'animal est resté couché. Ramené à 12^c ; ne paraît pas s'en apercevoir.

4^h 46^m, pression $14^c,5$; respir. 66.

4^h 53^m, 9e ouverture du robinet ; la pression tombe à $11^c,5$; l'animal relève la tête, mais reste couché.

4^h 55^m, pression 12^c ; respir. 84.

4^h 58^m, — 13 — 60.

4^h 59^m, 10e ouverture qui abaisse la pression à $10^c,7$; l'animal s'agite beaucoup, et se met sur le flanc.

5^h, pression 11^c ; respir. 55.

5^h 3^m, — 12 — 60.

5^h 12^m, la pression est 13^c ; je la ramène à $11^c,7$; pas d'effet apparent.

5^h 20^m, pression 14^c ; respir. 65.

5^h 22^m, 12e ouverture ; la pression tombe à $10^c,8$.

L'animal tourne, et roule sur le flanc, avec des convulsions toniques et cloniques.

5^h 24^m ; pression $11^c,7$. Les convulsions ont cessé ; l'animal n'a plus que de petites trépidations des pattes ; il reste couché, et, du reste, ne se relèvera plus.

5h 37m ; pression 14c,7 ; respirations 80.

5h 40m ; pression 15c ; ramené à 11c,7 ; l'animal ne bouge pas, mais se gonfle manifestement.

5h 53m ; pression 15c,5 ; même état. 14e ouverture de robinet ; ramené à 12c,5.

6h 45m ; pression 19c ; même état de l'animal. On ouvre largement la communication avec l'air extérieur. L'animal se dégonfle, mais ne respire pas mieux ; il est presque insensible ; sa température rectale est tombée à 20°.

Il reste couché sur le flanc, et meurt dans la nuit.

Pas d'ecchymoses au poumon.

Expérience CCXXVIII. — 11 juin ; temp. 21°. Cochon d'Inde, pesant 485 grammes ; mis sous une cloche de 13l,5.

De 3h 24m à 3h 30m, la pression est abaissée à 26c ; l'animal ne s'est pas agité ; mais alors il titube, puis se remet assez bien, se gratte le nez, etc.

A 3h 32m ; même état ; 100 respirations ; marche un peu.

A 3h 34m ; poussé à 20c ; les respirations montent à 135 ; l'animal reste immobile.

A 3h 35m ; pression 17c,5 ; se couche sur le ventre.

3h 40m ; pression 13c,7 ; 80 respirations, fortes, anxieuses ; les pupilles ne tardent pas à se dilater ; surviennent de petites secousses convulsives.

3h 4m. Même pression maintenue ; l'animal tombe sur le flanc ; mouvements convulsifs, avec roideurs. Ventre énormément ballonné.

Meurt à 3h 49m.

A 4h 2m, la température rectale est 34°, 6.

Expérience CCXXIX. — 17 juin ; température 22°. Cochon d'Inde dans grande cloche ; courant d'air.

De 2h 50m à 3h 45m, on l'amène à 36c de pression.

Puis, progressivement, de 3h 45m à 4h 20m, à 13 c ; il a alors 20 respirations à la minute, et reste couché sur le flanc.

A 4h 25m, on descend un instant à 10c.

L'animal a des mouvements convulsifs des pattes et de la tête ; les respirations sont laborieuses et saccadées.

On le maintient à 12c jusqu'à 4h 40m, où on le ramène à la pression normale.

Sa température rectale est alors de 25°. Très-rapidement, il se remet sur ses pattes, reprend des forces, se réchauffe ; à 4h 50m, sa temp. rectale est remontée à 31°.

Il meurt.

Examinons maintenant les résultats de ces expériences, successivement au point de vue des diverses fonctions physiologiques.

§ 1er. — Respiration.

En thèse générale, la respiration s'accélère quand la pression diminue. Mais rien n'est plus irrégulier que ces modifications dans la rapidité respiratoire. Ici, l'intervention de la *brusquerie* des phénomènes est de grande conséquence. L'animal s'étonne, s'agite, fait des efforts; il est gêné par les développements gazeux dont je parlerai à propos de la digestion, et tout cela accélère sa respiration. Mais il arrive assez souvent que la respiration se ralentit et devient plus ample; c'est presque la règle aux pressions très-basses. Cela se remarque surtout quand l'animal reste tranquille : l'agitation m'a paru toujours entraîner l'accélération.

En un mot, ici comme dans toutes les autres circonstances, la diminution de pression agit de même que l'asphyxie. On sait que, dans l'asphyxie en vase clos, il y a aussi une phase d'accélération respiratoire, suivie d'une phase de ralentissement dans laquelle les mouvements thoraciques se font largement et avec efforts. Les expériences rapportées au chapitre Ier montrent, elles aussi, des exemples fréquents de cette accélération respiratoire chez des animaux maintenus à des pressions plus ou moins basses.

Mais, pour montrer la difficulté qu'il y aurait à embrasser tous ces faits dans une formule générale, il suffit d'étudier de près les expériences, en prenant surtout la peine d'exprimer par des graphiques les chiffres dont la comparaison est difficile.

Dans les figures 47 et 48, dont les graphiques n'ont trait qu'aux mouvements respiratoires, et dans les figures 49, 50 et 51, où sont marquées en outre les pulsations cardiaques, la direction des flèches indique la série des dépressions et décompressions successives auxquelles ont été soumis les animaux. Quand la flèche se dirige vers la droite, la pression diminue, vers la gauche elle augmente au contraire. Les pressions sont en effet comptées sur l'axe des abscisses; sur l'axe

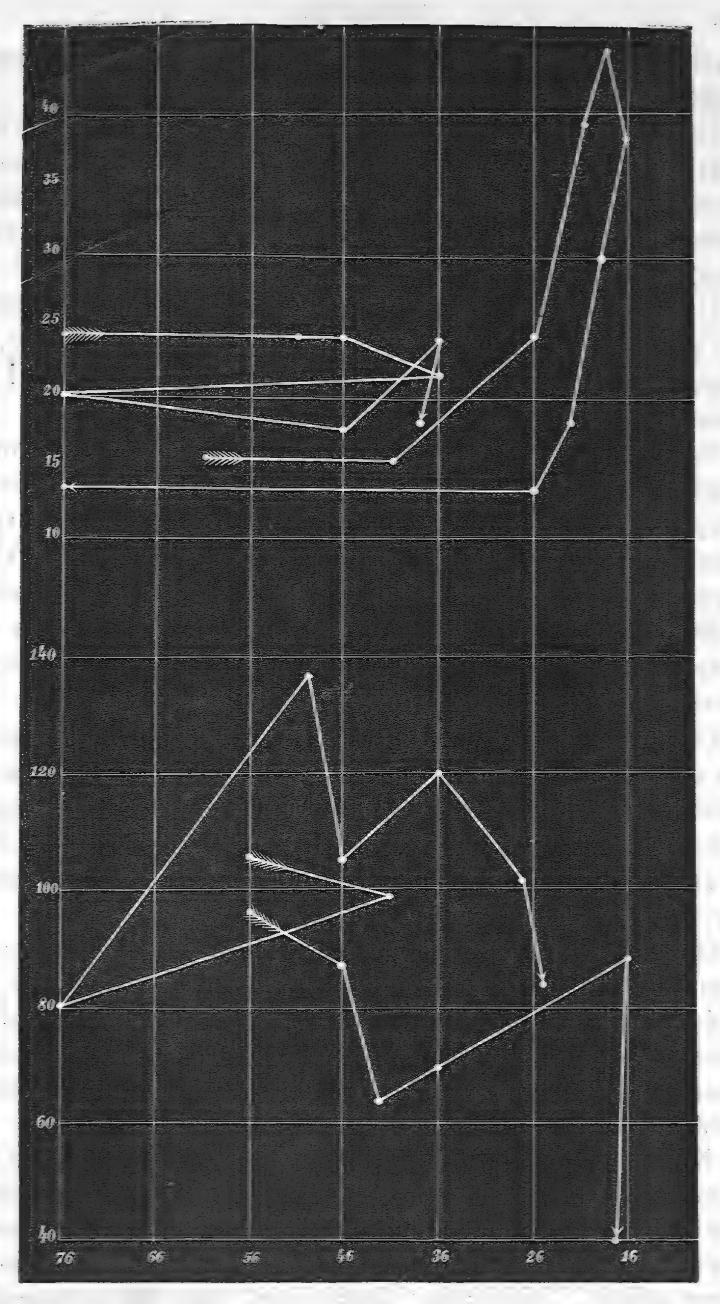


Fig. 47. — Modification du nombre des mouvements respiratoires sous l'influence de la décompression : A, B, chiens; C, D, lapins.

vertical sont inscrits les nombres correspondants aux mouvements respiratoires R et aux pulsations P.

Le tracé B (fig. 47) donne les détails de l'expérience CCXV, faite sur un chien. On voit qu'ici les choses se sont passées d'une manière simple et régulière : le nombre des respirations augmentant ou diminuant en sens inverse de la pression.

Le tracé A, au contraire (exp. CCXVII, autre chien), montre une complication singulière : d'une manière générale, le nombre des mouvements respiratoires diminue quand la pression diminue elle-même.

On constate des différences analogues avec les lapins. tandis que l'exp. CCXXV montre un rapport simple entre la pression et le nombre des mouvements respiratoires, l'expérience CCXXIV représentée par le tracé C, et l'exp. CCXXIII, représentée en D, semblent défier toute expression générale.

Mais le maximum de complication imaginable nous est fourni par le graphique de la figure 48, représentant l'expérience CCXXVII, faite sur un cochon d'Inde.

On y trouve, en effet, toutes les combinaisons possibles et les différences les plus étonnantes dans le sens et dans la valeur des modifications du nombre des respirations. Rappelons que cette expérience avait eu une durée exceptionnelle, et que l'animal s'était trouvé refroidi au point de périr après être revenu à la pression normale.

Ces faits, que j'aurais pu multiplier, ont l'avantage de montrer que, en dehors de ce qui est la règle générale, se présentent des exceptions nombreuses, qui expliquent le désaccord dans lequel se sont trouvés à ce sujet les observateurs en montagne et les aéronautes. Nous reviendrons plus tard sur ce dernier point.

Notons enfin qu'en outre du nombre, la respiration est affectée sous le rapport du rhythme; elle devient irrégulière, souvent dicrote, plus ample quelquefois, et je l'ai vue, chez les chiens, à de très-basses pressions, comme séparée en deux temps : inspiration thoracique, puis inspiration diaphragmatique. De plus, chaque mouvement général est

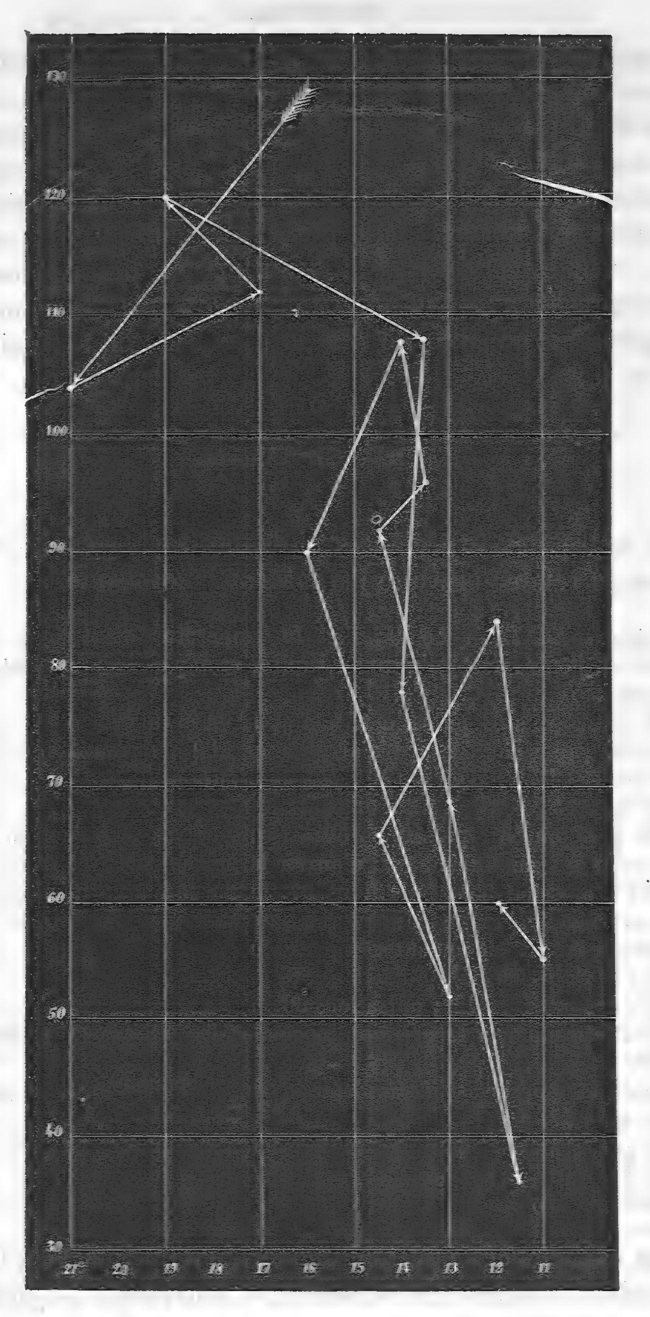


Fig. 48. — Modification du nombre des mouvements respiratoires sous l'influence de la décompression : Cochon d'Inde, expér. CCXXVII.

accompagné d'une sorte d'anhélation. Tout cela concorde avec ce que l'on a observé chez l'homme.

La diminution de la capacité respiratoire maximum a été mise en évidence par une expérience faite sur moi-même, et dont les détails seront reproduits dans le sous-chapitre III. A la pression normale, elle était représentée par le chiffre 17,3, valeur arbitraire; à 430 millimètres de pression, elle était tombée à 11,8, et après une demi-heure de séjour sous des pressions voisines de 420 millimètres, elle n'était plus que de 9,9.

§ 2. — **Circulation.**

En outre des expériences ci-dessus rapportées, je crois devoir en relater une que j'ai faite sur moi-même.

Expérience CCXXX. — Le 29 juillet, la température étant 23°,5, la pression 75^{c},5, j'entre dans le grand cylindre, et m'y assieds, en restant fort tranquille.

A 2^{h}35^{m}, j'avais 64 pulsations, à la pression normale.

A 2^{h}45^{m}, pression 72^{c}; je n'ai plus que 60 pulsations; peut-être le repos seul a-t-il suffi pour amener cette diminution.

A 2^{h}55, pression 63^{c}; pulsations 63.

A 3^{h}, pression 60^{c}; pulsations 67. Je suis obligé à ce moment, par le gonflement des gaz intestinaux, d'ouvrir largement mes vêtements.

A 3^{h}8^{m}, pression 55^{c}; pulsations 67. Je me lève à ce moment, et fais deux ou trois pas dans le cylindre; aussitôt mon pouls monte à 80.

Je laisse lentement remonter la pression.

A 3^{h}15^{m}; pression 62^{c}; pulsations 63.

A 3^{h}24^{m}; pression 72^{c}; pulsations 60.

A 3^{h}28^{m}; retour à la pression normale; les pulsations ne sont plus que 59.

Je sors et marche assez rapidement dans le laboratoire; le pouls ne monte qu'à 67.

Je n'ai rien éprouvé de désagréable, sauf la tension des gaz intestinaux, et un besoin d'avaler souvent ma salive pour déboucher la trompe d'Eustache.

Les expériences sur moi-même, dont le sous-chapitre III du présent chapitre contiendra la narration, donnent les mêmes résultats.

On voit que, dans la cloche à dépression, l'accélération circulatoire se manifeste assez vite, comme l'avaient déjà observé les aéronautes. Elle augmente considérablement aux moindres mouvements.

Les expériences faites sur les animaux déposent dans le même sens. Elles montrent le plus souvent une marche re-

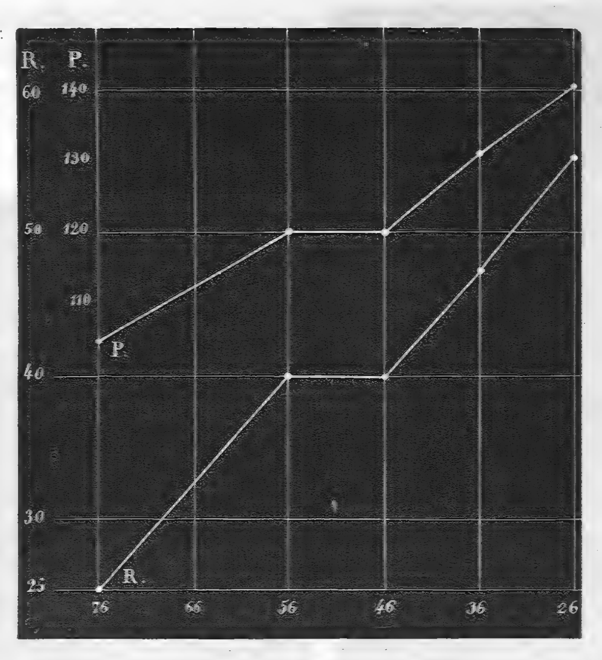


Fig. 49. — Modifications simultanées du nombre des mouvements respiratoires R et des pulsations P sous l'influence de la décompression : Chat, expér. CCXXI.

marquablement concordante entre la variation du nombre des mouvements respiratoires et celle des battements cardiaques.

La figure 49 en fournit un exemple remarquable, emprunté à l'exp. CCXXI qui a été faite sur un chat. Le tracé des pulsations est marqué P ; il correspond à la colonne P des ordonnées. Le tracé des respirations est indiqué par la lettre R, ainsi que la valeur de ses ordonnées. Les pressions sont comptées sur l'axe des abscisses.

La même concordance, bien que moins constante, se remarque dans la figure 50, qui exprime les observations faites pendant l'expérience CCXVIII.

Enfin, dans la figure 51, qui reproduit les étranges résultats de l'exp. CCXVII, nous voyons que si le nombre des mouvements respiratoires diminue avec la pression, il en est

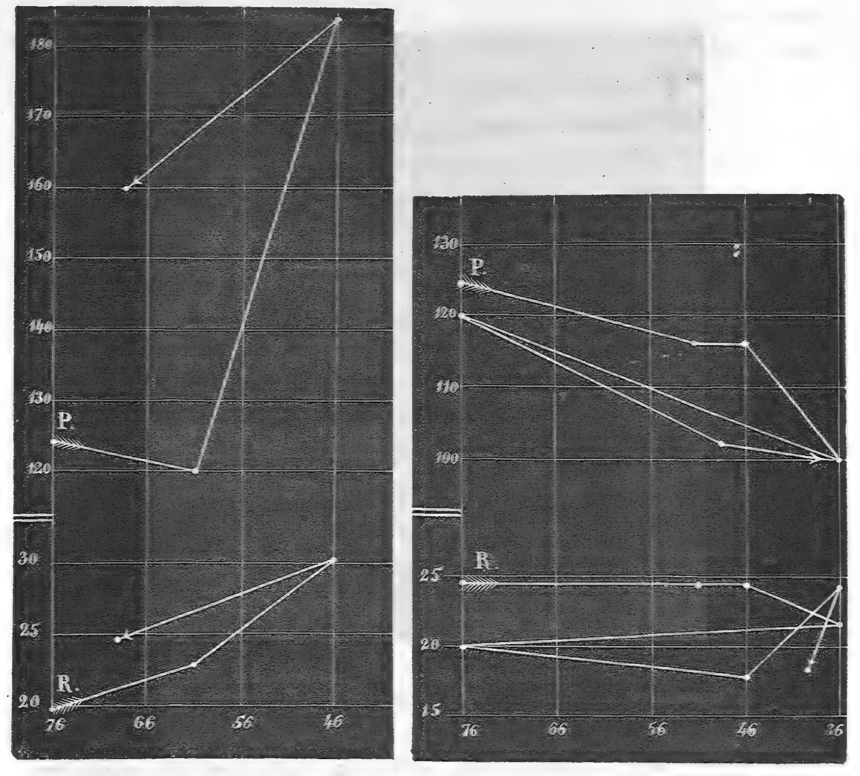


Fig. 50. — Chien, expér. CCXVIII. Fig. 51. — Chien, expér. CCXVII.

Modifications simultanées du nombre des mouvements respiratoires R et des pulsations P sous l'influence de la décompression.

à peu près de même des mouvements du cœur. Ceux-ci même suivent beaucoup plus exactement que ces premiers cette règle générale.

Il m'a été presque impossible, à cause des caillots qui se formaient dans les artères et les appareils, de mesurer d'une

manière suivie les modifications de la pression cardiaque. Les rares constatations que j'ai pu faire ne m'ont montré que de faibles diminutions; il m'a semblé qu'il faudrait aller très-loin pour obtenir de notables différences chez des animaux qu'il est nécessaire de maintenir immobiles. Ainsi à 26^{c} de pression, le cœur avait conservé la même puissance qu'à la pression normale (exp. CCXIX). Il en serait sans nul doute autrement, s'ils exécutaient un travail comparable à celui des voyageurs qui gravissent une montagne.

J'ajoute que sous l'influence des pressions très-faibles et très-rapidement obtenues, j'ai vu quelquefois des hémorrhagies nasales et pulmonaires. Mais c'est un accident fort rare chez les animaux; il n'est, du reste, pas si commun qu'on le dit d'ordinaire chez les hommes.

§ 3. — **Digestion.**

Vers un certain degré de décompression, les voyageurs ont éprouvé des nausées; j'ai vu également mes animaux tituber, hocher de la tête avec un malaise manifeste, et vomir. Les Oiseaux présentaient presque tous ce symptôme.

Les animaux soumis à de fortes dépressions, et surtout les herbivores, se gonflaient d'une manière très-remarquable, par la dilatation de leurs gaz intestinaux. Il m'a paru, dans quelques cas, que ce gonflement était assez fort pour agir même sur la respiration et en gêner les mouvements.

J'ai constaté sur moi-même ce gonflement désagréable, dans l'expérience racontée page 716, et dans plusieurs autres du même ordre rapportées au sous-chapitre III; mais il n'a jamais entraîné une gêne sérieuse, lorsque les vêtements qui serrent la taille étaient détachés et ouverts; du reste, les gaz trouvaient très-facilement issue par les deux orifices intestinaux.

J'ai même voulu faire, pour constater *de visu* cette évacuation gazeuse, des expériences directes :

EXPÉRIENCE CCXXXI. — 10 décembre. Un chien, qui vient d'être tué

par électrisation du cœur, est attaché sur une gouttière et placé dans les cylindres à décompression. Dans son rectum est introduit un tube de verre coudé qui, grâce à des ampoules de caoutchouc, oblitère parfaitement l'anus. L'autre extrémité du tube plonge de quelques centimètres dans un verre plein d'eau.

On commence alors la décompression, et l'on voit, au fur et à mesure que le baromètre baisse, des bulles de gaz éclater à la surface de l'eau et se succéder d'autant plus rapidement que la marche de la pompe à dépression est-elle même plus rapide.

Cependant le ventre se gonflait visiblement.

Au retour à la pression normale il s'aplatit soudain, et de l'eau rentre dans le rectum.

Expérience CCXXXII. — 27 février. Chien tué par hémorrhagie et disposé comme celui de l'expérience précédente. Il a de plus dans l'œsophage un tube plongeant un peu dans l'eau.

Dès les premiers coups de pompe, l'air sort par l'anus d'une manière continue ; à plusieurs reprises, on arrête la machine, l'évacuation gazeuse s'arrête aussitôt. Mais il ne sort jamais de gaz par l'œsophage.

La pression est abaissée jusqu'à 30^c en $2^h\,20^m$.

Au retour à la pression normale, le ventre s'aplatit.

Ainsi les gaz dilatés sortent très-aisément par l'anus ; mais la dernière expérience montre, fait assez bizarre, qu'ils ne peuvent, sur le cadavre, s'échapper par le cardia, ni probablement par le pylore, en sorte que l'estomac se distend. Mais sur le vivant il n'en est pas de même, et l'éructation se produit grâce au jeu d'actions musculaires.

Cette influence sur la dépression des gaz intestinaux est fort peu importante, mais elle présente cet intérêt d'être la seule ou à peu près qu'elle occasionne à titre d'agent purement physique.

J'ai ressenti également, en plusieurs occasions, dans mes cylindres, les nausées, les dégoûts occasionnés par la décompression.

§ 4. — Innervation et locomotion.

Quand la pression baisse notablement, nous avons vu diminuer rapidement la force musculaire des animaux. Les oiseaux refusent de faire des tentatives pour s'envoler. Tous ne tardent pas à rester absolument immobiles, malgré

qu'on les excite et menace, et si farouches ou si effrayés qu'ils eussent semblé au début ; plus bas, ils cessent de pouvoir se tenir debout et s'accroupissent ; plus bas encore, ils tombent sur le flanc.

Je raconterai, dans le sous-chapitre III, les détails d'expériences où je suis descendu à d'assez basses pressions. J'en extrais cette remarque intéressante que, lorsque je voulais soulever ma jambe, depuis longtemps ployée, elle était prise de secousses convulsives que je ne pouvais maîtriser, mais qui cessaient aussitôt que je l'appuyais de nouveau à terre. De semblables tremblements ont été signalés par les aéronautes qui, pour la plupart, les ont attribués au refroidissement. M. Sivel, qui les a éprouvés, les comparait à la période de froid des accès de fièvre intermittente.

Les animaux soumis à d'assez basses pressions deviennent comme insensibles et indifférents à toutes choses ; il me paraît évident que la sensibilité, comme la force de réaction, leur font défaut en même temps. Du reste, chez l'homme, les impressions sensorielles diminuent singulièrement d'acuité ; nous en verrons la preuve dans le récit de l'ascension de MM. Crocé-Spinelli et Sivel. Il en est de même de l'énergie morale, de l'activité intellectuelle ; dans une de mes expériences, je me suis surpris à ne pouvoir multiplier 28, nombre de mes battements du cœur pendant un tiers de minute, par 3. J'ai dû me contenter d'écrire ces chiffres sur mon cahier de notes ; cet affaissement me laissait d'ailleurs assez indifférent.

Lorsque la dépression approche de la limite mortelle, lorsqu'elle dure depuis longtemps, ou lorsqu'elle a été amenée très-brusquement, on voit souvent survenir chez les animaux des trépidations convulsives qui rappellent, en l'exagérant, le tremblement que j'ai ressenti moi-même. Aux extrêmes limites, quand la mort arrive, apparaissent des convulsions véritables, dont la violence est en rapport avec la vigueur que conserve alors l'animal.

Quand la dépression a été très-lentement amenée, quand elle a duré longtemps, que l'animal est très-affaibli et très-

refroidi, on ne constate pas de convulsions, ou bien elles sont très-médiocres. J'ai montré autrefois qu'il en est de même dans l'asphyxie ordinaire, en vases clos. Voici, par exemple, une expérience :

Expérience CCXXXIII. — 17 septembre. Deux sansonnets.

A. L'un est placé sous une cloche de 900^{cc}, renversée sur une cuve d'eau. Au bout de trois quarts d'heure surviennent de violentes convulsions, et l'oiseau périt.

B. Le second est mis sous une cloche de 14^{l}, également renversée sur l'eau. Au bout de 6 heures environ, la respiration paraît notablement gênée. La mort survient après 9^{h} 25^{m}, avec des phénomènes graduels, sans aucune convulsion.

Les convulsions produites par la décompression, par l'asphyxie, et j'ajoute par l'hémorrhagie, ne sont autre chose qu'une réponse violente de la moelle épinière surexcitée par une modification brusque dans les conditions de sa nutrition. Si les transitions sont soigneusement ménagées, s'il n'y a que des changements lents et progressifs, on ne voit plus de phénomènes violents, plus de convulsions.

Les expériences rapportées dans le chapitre II, sous-chapitres I et IV, montrent que, par la décompression, l'acide carbonique diminue considérablement dans le sang. Quand on arrive à la mort, quand surviennent des convulsions, l'animal en a perdu plus des deux tiers. Ce n'est donc pas, bien évidemment, à ce gaz qu'il faut attribuer les phénomènes convulsifs, comme le voulait la théorie émise, dès 1850, par M. Brown-Séquard, et acceptée aujourd'hui par un grand nombre de physiologistes[1]. Nous verrons directement, dans un autre chapitre, que l'acide carbonique est un stupéfiant des nerfs et des muscles, bien loin de tendre à les surexciter.

Ici, je veux simplement faire remarquer que, dans toutes les expériences que ce savant physiologiste a apportées à l'appui de son dire, l'oxygène diminuait rapidement jusqu'à dis-

[1] Voir ses Recherches expérimentales sur les propriétés physiologiques et les usages du sang rouge et du sang noir. *Journal de la physiologie de l'homme et des animaux;* 1858, p. 99, 101, 105.

paraître, tandis que l'acide carbonique lui-même augmentait à peine dans le sang et les tissus. Ce que nous venons de dire suffit, sans qu'il soit utile d'insister davantage, pour prouver que c'est à cette diminution brusque de l'oxygène que devaient être attribuées les excitations médullaires et les contractions musculaires.

Je crois devoir ajouter ici que chez les animaux tués par la décompression, comme chez les animaux rapidement asphyxiés ou saignés, on voit, dans les instants qui précèdent la mort, les intestins se tordre dans le ventre par de violents mouvements péristaltiques.

§ 5. — **Nutrition.**

Tous les phénomènes que nous venons de passer en revue ne sont que les conséquences des troubles de la nutrition des tissus, troubles dus à la moindre quantité d'oxygène qui existe dans le sang. Nos expériences sur les atmosphères suroxygénées ont montré, en effet, que la dépression, en tant qu'agent physique, ne joue qu'un rôle à peu près négligeable, et que la question est exclusivement d'ordre chimique.

Nous devons donc essayer de pénétrer dans l'étude de ces troubles nutritifs, qui se manifestent si nettement à nous par l'abaissement de la température. Nous le ferons en recherchant les modifications que subissent les phénomènes chimiques de la respiration, l'absorption d'oxygène, qui est le fait initial, l'excrétion carbonique, qui mesure l'énergie des combustions intrà-organiques, et aussi l'excrétion rénale, qui peut servir également à mesurer l'activité chimique du corps vivant.

1° *Phénomènes chimiques de la respiration.* — Les nombreuses expériences rapportées dans le chapitre Ier sur la mort en vases clos d'animaux soumis à des pressions plus ou moins faibles, permettraient d'établir, par un calcul simple, la quantité d'oxygène consommé et la quantité d'acide carbonique exhalé, par unité de temps, pour chaque espèce animale, ou pour chaque kilogramme d'animal.

Je le ferai dans un moment, en ne tenant compte que des expériences où l'attitude de l'animal a été notée, car il est bien évident que les résultats peuvent être modifiés, renversés même dans leur sens général, par le seul fait d'une agitation considérable comparée à un repos absolu.

Mais il m'a semblé utile d'instituer, pour cette constatation délicate, des expériences spéciales, où des précautions particulières seraient prises. En outre, les expériences du chapitre Ier se terminent par la mort, et, bien que comparables entre elles sous ce rapport, elles ne peuvent entraîner aussi sûrement la conviction que celles où les animaux survivent.

Voici quelques-uns de ces faits nouveaux :

Expérience CCXXXIV. — 30 juin. Rats de même portée, pesant chacun 50 grammes.

A. Renfermé de $4^h 16^m$ à $4^h 58^m$ (42^m) sous une cloche bien close, contenant $3^l,2$; pression normale.

B. Renfermé de $4^h 34^m$ à $5^h 18^m$ (42^m) sous une cloche de $7^l,1$, dans laquelle on amène rapidement la pression à 34^c. Le volume de la cloche correspond à $3^l,17$ à la pression normale.

C. Renfermé de $4^h 30^m$ à $5^h 12^m$ (42^m) sous une cloche de $11^l,5$, dans laquelle on amène rapidement la pression à 20^c. Le volume de la cloche correspond à $3^l,03$ à la pression normale.

Les trois animaux restent tranquilles, sauf B qui remue un peu. C se couche sur le ventre, mais se relève quand on l'excite un peu; il va mieux vers la fin de l'expérience; aucun d'eux ne paraît alors souffrir du confinement.

L'expérience terminée, on trouve que la tempér. rectale de A est 38°,1 ; celle de B 35°,1 ; celle de C 32°,0.

La composition de l'air est la suivante :

A. O 14,8; CO^2 5,2.
B. — 16,0; — 3,9.
C. — 17,2; — 3,2.

Ainsi, l'oxygène consommé, dans des vases contenant à peu près la même quantité d'air, a été pour A, de 6,1 pour 100; pour B, de 4,9; pour C, de 3,7.

En établissant maintenant la valeur absolue de la consommation d'oxygène et de la production d'acide carbonique pendant les 42^m de l'expérience, on trouve que :

		OXYGÈNE				CO^2
A, qui avait à sa disposition		672^{cc},	en a consommé	195	et a produit	166^{cc}
B	—	666	—	155	—	123
C	—	636	—	112	—	97

Expérience CCXXXV. 3 juin. Rats de même portée. Tempér. extér. 25°.

α. Mis de $2^h 20^m$ à $4^h 50^m$ ($2^h 30^m$), à la pression normale, sous une cloche de 7^l, 6.

β. Mis de $2^h 40^m$ à $5^h 15^m$ ($2^h 35^m$), à la pression de 50^c, sous une cloche de 11^l,5, dont la capacité à cette pression correspond, sous la pression normale, à 7^l,57.

γ. Mis de $2^h 55^m$ à $5^h 30^m$ ($2^h 35^m$), à la pression de 37^c, sous une cloche de 15^l,5, dont la capacité à cette pression correspond, sous la pression normale, à 7^l,53.

Les animaux restent fort calmes, et ne paraissent point gênés. A la fin de l'expérience, la tempér. de α est 35°; celle de β, 34°; celle de γ, 32°,5. (Le thermomètre n'était pas exact, et ces valeurs doivent être considérées non comme absolues, mais comme comparatives).

L'analyse chimique a donné :

Pour α : O 11,3; CO^2 8,1.
— β : — 12,5; — 7,8.
— γ : — 13,1; — 5,9.

En faisant les mêmes calculs que pour l'expérience précédente, on trouve qu'en $2^h 35^m$,

	OXYGÈNE			CO^2
α, qui avait à sa disposition	1596^{cc},	en a consommé	729 et a produit	615^{cc}
β — —	1589	—	636 —	590
γ — —	1581	—	587 —	452

Si, pour comparer plus aisément les résultats de ces deux expériences, on calcule pour une heure la consommation de l'oxygène, on trouve que

		OXYGÈNE		CO^2
A, à la pression normale,	a consommé	278^{cc},	et formé	237
α —	—	282	—	246
β à 50^c de pression	—	246	—	237
γ à 37^c —	—	227	—	180
B à 34^c —	—	221	—	175
C à 20^c —	—	160	—	138

La concordance remarquable entre les expériences A et α d'une part, γ et B de l'autre, montre que, malgré les causes d'erreurs inhérentes à notre procédé expérimental, — causes d'erreur qui nous forcent à ne tenir aucun compte du troisième chiffre des nombres ci-dessus rapportés, — nous pouvons affirmer hautement que la consommation d'oxygène dans un temps donné diminue quand diminue la pression elle-même; ce fait se manifeste de la manière la plus nette dans le graphique A de la figure 52, qui traduit la moyenne des résultats des deux expériences précédentes.

La production de l'acide carbonique donne lieu à des conclusions semblables. Le tracé A' en exprime les phases diverses.

Reportons-nous maintenant aux expériences du chapitre I, sous-chapitre I, et particulièrement au tableau I, page 548, qui les résume. Nous trouvons ici tous les éléments nécessaires pour notre calcul. Or, si, sans suivre tous les détails des expériences, nous prenons quelques moyennes à diverses dépressions, nous voyons que, en une heure, un moineau,

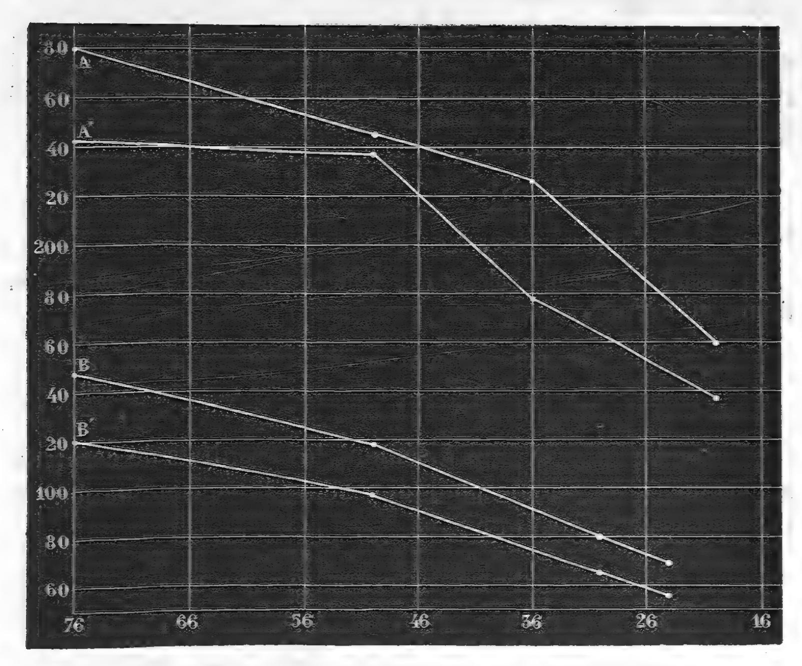


Fig. 52. — Consommation d'O, et production de CO^2 aux différentes pressions.

		OXYGÈNE		CO^2
A la pression normale (exp. 1, 2, 3, 4),	a consommé	147cc,	et produit	122cc
Aux environs de 50c (exp. 5, 6, 7, 8)	—	118	—	97
— 30c (exp. 13, 14, 17)	—	80	—	65
— 24c (exp. 24, 25, 26, 27)	—	72	—	57
— 20c (exp. 33)	—	60	—	»

Ces résultats ont été marqués aux tracés B et B' de la figure 52. On voit que, malgré la différence capitale des

méthodes (puisqu'ici les moineaux sont restés jusqu'à la mort, d'où il résulte que dans les derniers temps de la vie ils étaient tous soumis à la même tension d'oxygène, la tension qui entraîne la mort), ils concordent singulièrement avec les précédents, non-seulement quant au sens général de leur variation, mais même quant à la proportion de cette variation.

Je suis donc tout à fait autorisé à tirer de tout cet ensemble de faits la conséquence que, aux basses pressions barométriques, un animal consomme, dans un temps donné, une quantité notablement moindre d'oxygène, et produit une quantité notablement moindre d'acide carbonique qu'à la pression normale. Cette diminution, qui est d'autant plus grande que la pression est moindre, se manifeste déjà d'une manière très-nette pour une diminution d'un tiers d'atmosphère, ce qui correspond à une hauteur de plus 3000 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Nous aurons à revenir fréquemment sur les conséquences de ce fait dominateur, qui explique suffisamment, on le sent déjà, tous les troubles occasionnés par la diminution de pression.

2° *Excrétion urinaire.* — Après avoir constaté que la consommation d'oxygène et que les combustions intrà-organiques d'où dépend la formation de l'acide carbonique sont considérablement diminuées par le séjour dans l'air déprimé, je devais chercher à savoir si ces modifications de la nutrition ne se manifesteraient pas aussi dans l'excrétion urinaire.

J'ai porté spécialement mon attention sur l'urée. Les analyses ont été faites tantôt par la méthode de M. Gréhant (emploi du réactif de Milon et du vide), tantôt par celle de M. Yvon (par l'hypobromite de soude).

Les chiens ont fourni les sujets de mes expériences. L'animal, enfermé à l'avance dans les cylindres où devait être faite la décompression, était soumis pendant deux ou trois jours à un régime régulier de nourriture ; on estimait alors la quantitée d'urée excrétée dans les 24 heures, en pratiquant deux matins de suite des sondages, parce que les chiens renfermés

ne rendent leur urine qu'à des intervalles fort irréguliers. Bien entendu, tout était disposé pour recueillir l'urine rendue spontanément par l'animal. La décompression étant entretenue pendant quelques heures, on faisait une nouvelle analyse embrassant l'urine de la journée depuis le matin de l'expérience jusqu'au lendemain matin. Quelquefois, on recueillait encore de même l'urine des 24 heures suivantes.

Voici quelques-uns des résultats obtenus :

Expérience CCXXXVI. — 3 juillet. — Chien pesant 12k; mange chaque jour, entre 7 et 8h du matin, 250gr de pain et 250gr de viande bouillis avec 500gr d'eau.

Le 4, à 10h du matin, on vide la vessie du chien.

Le 5, on le sonde de nouveau, à la même heure; il n'a pas uriné spontanément; on obtient ainsi 260cc d'urine, qui, traités suivant la méthode d'Yvon, donnent 7248cc d'azote.

On en conclut qu'il a rendu 19gr, 4 d'urée.

Ce jour-là, de 11h à 6h, l'animal est soumis à une pression de 38c.

En sortant de l'appareil, le sondage amène 100cc d'urine, contenant 7gr,4 d'urée. Le lendemain à 11h du matin, nouveau sondage, donnant 80cc d'urine, avec 4gr,4 d'urée.

A donc rendu, dans ces 24 heures, 11gr,8 d'urée seulement.

Le jour suivant (7 juillet), sondé à 1h 15m; l'urine, réunie à celle qu'il a rendue dans la nuit, forme 240cc, contenant 15gr,4 d'urée.

Expérience CCXXXVII. — Même chien, maintenu au même régime.

Sondé le 7 juillet à 1h 15m, comme il vient d'être dit, puis le 8 à 10h 30m, (21 heures), donne, 246cc d'urine contenant 19gr,6 d'urée.

Le 8 juillet, de 10h 55m à 4h 45m, est maintenu à 38c de pression.

Le 9, à 1h 15m, a rendu (en 27h) 385cc d'urine contenant 24g,7 d'urée.

Si on ramène ces sécrétions à ce qu'elles auraient valu par rapport à 24 heures, on trouve :

A la pression normale, 22gr,4.

A demi-atmosphère, 21gr,9.

Expérience CCXXXVIII. — 13 juillet. — Même chien, soumis au même régime. Mais il s'ennuie de rester renfermé.

Du 13 juillet, à 7h 45m du matin (à jeun) jusqu'au 14 à 8h du matin (à jeun), a fourni 200cc d'urine, donnant 13gr d'urée.

Le 14, de 8h 30m du matin à 5h 45m du soir, est maintenu à la pression variant de 30 à 35c. Ne paraît pas affaissé.

Le 15, à 8h du matin (à jeun), on recueille toute l'urine, qui est de 211cc avec 7gr d'urée seulement.

Dans les 24 heures suivantes, il donne 130cc, avec 8gr,2 d'urée.

Expérience CCXXXIX. — 9 juin. — Chien pesant 19k,5. Soumis depuis

4 jours à une ration alimentaire de 375^{gr} de pain, 375^{gr} de viande et 500^{gr} d'eau.

Du 9 juin, 10^{h} du matin, au 10 juin, 10^{h} 35^{m}, a donné 276^{cc} d'urine qui, analysée par la méthode de Gréhant, contiennent 27^{gr},9 d'urée.

Le 10 juin, de 11^{h}30^{m} du matin à 6^{h}30^{m} du soir, est maintenu entre 25 et 30^{c} de pression. Au sortir de l'appareil, il est très-abattu, refusant presque de se tenir sur ses pattes. On le sonde, sans pouvoir extraire plus de quelques gouttes d'urine.

Le 11 juin, à 10^{h} 30^{m} du matin, la sonde amène 390^{cc} d'urine claire, ne contenant ni sucre ni albumine. Elle donne 20^{gr},7 d'urée.

Expérience CCXL. — 17 juin. — Même chien, maintenu à la même ration, mais laissé libre. Placé le 17 à 10^{h} du matin dans l'appareil ; a fourni, le 18 à la même heure, 370^{cc} d'urine contenant 27^{gr},5 d'urée (méthode Yvon).

Le 18, de 11^{h} à 5^{h} 30^{m} est maintenu entre 36 et 38^{c} de pression. Ses respirations montent de 16 à 24 et même 30. Sort de l'appareil un peu abattu ; sa température rectale a baissé de 39°,2 à 39°,0.

On le sonde, et l'on obtient 100^{cc} d'urine, sans sucre, contenant 7^{gr},5 d'urée ; le lendemain, à midi, fournit 130^{cc} d'urine contenant 6^{gr} d'urée ; soit, dans les 24 heures, 13^{gr},5.

Expérience CCXLI. — 23 juin — Même chien ; régime régulier, mais ration un peu moindre.

A la pression normale, en 24 heures, fournit 250^{gr} d'urine contenant 20^{gr} d'urée (méthode Yvon).

Est soumis de 1^{h} à 6^{h} 30^{m} à la pression de 38^{c}. Produit dans les 24 heures, 220^{cc} d'urine qui contiennent 14^{gr},4 d'urée.

Le lendemain, à la pression normale, donne en 24 heures, 36^{gr},8 d'urée dans 600^{cc} d'urine.

Expérience CCXLII. — 26 octobre. — Chien pesant 20^{k},5 ; mais depuis 10 jours au régime quotidien suivant : 250^{gr} viande, 250^{gr} pain, 500^{gr} eau.

Du 26 octobre à 9^{h} du matin au 27, à 9^{h} 30^{m}, fournit 336^{cc} d'urine qui contiennent 23^{gr},4 d'urée (méthode Yvon).

Le 27, de 9^{h} 45^{m} à 5^{h} est soumis à une pression variant de 30 à 40^{c}. Le lendemain, à 9^{h} 45^{m}, a produit 570^{cc} d'urine, avec 23^{gr},5 d'urée.

Dans les 24 heures suivantes, donne 330^{cc} d'urine avec 17^{gr},3 d'eau.

Et le jour d'après, 390^{cc} d'urine, avec 21^{gr},8 d'urée.

Ces expériences montrent, avec la dernière évidence, qu'un séjour de quelques heures dans un air dont la pression a été diminuée de plus de moitié abaisse notablement la quantité d'urée excrétée en vingt-quatre heures. Quelles que puissent être les causes diverses inhérentes aux procédés expérimen-

taux, la concordance exacte quant au sens, sinon quant à la valeur absolue, des variations dans toutes les expériences, suffit pour constituer les éléments de la certitude.

Cet abaissement n'a point été proportionnel à la diminution de pression; il a varié avec des circonstances pour la plupart inconnues: son maximum a été, dans l'expérience CCXL, de 50,8 pour 100.

On peut remarquer, en parcourant le récit de ces expériences, que, dans celle qui porte le n° CCXLII, la diminution d'urée ne s'est pas fait sentir le jour même de la dépression ($23^{gr},4$ à $23^{gr},5$), mais bien le lendemain ($17^{gr},3$); le jour d'après, l'état normal était à peu près revenu ($21^{gr},8$). Dans un autre cas, expérience CCXLI, le lendemain du séjour dans l'air déprimé, la quantité d'urée rendue a beaucoup augmenté, et s'est relevée notablement au delà du chiffre primitif, sous la pression normale. Ce sont là des questions de détail pour l'étude desquelles il serait indispensable de multiplier les expériences, en prenant pour sujet l'homme, duquel l'égalité de régime, l'égalité de mouvements, etc., peuvent être bien plus exactement obtenues.

Quoi qu'il en soit de ces points secondaires, il reste avéré qu'aux basses pressions la diminution d'activité des phénomènes chimiques porte non-seulement sur ceux desquels résulte la production d'acide carbonique, mais sur ceux qui ont pour conséquence l'excrétion de l'urée. Tout l'ensemble des actes d'oxydation intra-organiques se trouve donc diminué dans une proportion considérable, quand l'air est suffisamment dilaté.

Il est à remarquer que l'acide urique n'a pas paru augmenter dans l'urine des chiens, où l'urée diminuait; au moins n'a-t-on pas remarqué de précipité, ni spontané, ni consécutif à l'acidification de l'urine. C'est un fait qui vient à l'appui de tant d'autres pour montrer que l'urée n'est pas un produit de l'oxydation de l'acide urique, mais que ces deux substances procèdent de transformations chimiques différentes.

3° *Sucre du foie et du sang, glycosurie.* — J'ai constaté à plu-

sieurs reprises la présence de sucre dans l'urine des animaux maintenus pendant quelques heures à de faibles pressions. Mais le phénomène s'est toujours présenté d'une manière irrégulière en apparence, si bien que je n'ai pu le reproduire à volonté dans des expériences comparatives.

D'autre part, quand la dépression est forte et qu'elle agit pendant longtemps, le sucre diminue plus ou moins dans le foie ; il peut même en disparaître tout à fait. Exemple :

Expérience CCXLIII. — 1er août. — Rat, maintenu dans une grande cloche, avec air renouvelé de temps en temps, à la pression oscillant entre 30 et 40 cent., depuis $1^h\ 10^m$ jusqu'à $6^h\ 45^m$.

On abaisse alors la pression à 8^c ; l'animal meurt au bout de 5^m.

Le foie est extrait immédiatement, jeté dans de l'eau bouillante, puis écrasé avec du noir animal : pas trace de sucre.

Voici donc que le processus chimique qui transforme en sucre le glycogène du foie est, lui aussi, entravé par la diminution de pression. Encore ici, nous retrouvons la similitude absolue de la mort par dépression avec l'asphyxie lente en vases clos. On sait que, de même encore, dans l'asphyxie, la glycosurie est un phénomène qui se constate parfois, mais non toujours. On comprend que des conditions multiples président à son apparition. Il faut, en effet, qu'à un certain moment le foie fournisse encore une grande quantité de sucre au sang, et que l'oxydation intrà-sanguine se trouve en même temps gravement entravée. Ce sont des conditions assez complexes et difficiles à réaliser à volonté.

La richesse en sucre du sang artériel méritait aussi d'être examinée de près. Voici quelques expériences exécutées dans ce but : les analyses ont été faites par M. Dastre, très-habitué à cet ordre de recherches :

Expérience CCXLIV. — 26 février. Chien havanais de petite taille.

Son sang artériel contient par kilogramme $0^{gr},95$ de glycose.

Il est placé sous une grande cloche, à une pression d'environ 20 ou 25^c ; au bout d'un quart d'heure, il meurt ; la pression étant peut-être descendue trop bas par un manque de surveillance.

Le sang du cœur droit contient $3^{gr},48$ de glycose par kilogramme.

Beaucoup de matière glycogène dans le foie.

Expérience CCXLV. — 27 février. Chien de petite taille, malingre, souffreteux.

Son sang artériel contient 1gr,80 de glycose.

Placé pendant 3 heures, sous courant d'air, à une pression variant entre 15 et 25c. Puis tué par décompression soudaine allant jusqu'à 5c.

Sang du cœur droit contient 1gr,84.

Beaucoup de sucre et de matière glycogène dans le foie.

Pas d'urine dans la vessie; les reins et la vessie, broyés dans de l'eau, ne donnent pas de réduction à la matière bleue.

La température n'a pas été mesurée; mais l'animal ne semblait pas refroidi sensiblement.

Expérience CCXLVI. — 3 mars. Chien de petite taille.

Sang artériel contient 1gr,5 de glycose.

Amené en 20 minutes à la pression de 17c où il reste pendant 10 minutes. Puis tué soudain par décompression (9c).

Sang artériel, tiré du cœur pendant les derniers battements, contient 3gr,3 de glycose.

Température rectale 38°.

Beaucoup de sucre et de matière glycogène dans le foie.

Pas d'urine; la vessie et les reins, broyés avec de l'eau, ne donnent pas de sucre.

Ainsi, lorsque la décompression n'a pas duré longtemps, mais a été forte, le sucre augmente dans le sang; il revient à sa dose normale lorsque la dépression a été suffisamment prolongée. Cette différence me paraît pouvoir s'expliquer de la manière suivante : le foie, irrité par l'action d'un sang brusquement désoxygéné, verse dans le torrent circulatoire une forte proportion de sucre qui, si l'on tue l'animal au bout de peu de temps, se manifeste à l'analyse; si, au contraire, on attend longtemps, ce sucre se détruit dans l'organisme, et le foie en produisant de moins en moins, il revient à sa dose normale, pour diminuer encore et finalement disparaître, même du foie, comme le montre l'expérience CCXLIII faite sur le rat.

4° *Température*. — Il n'est pas étonnant, en présence de cette diminution des phénomènes chimiques de l'organisme, de voir s'abaisser la température du corps.

On avait signalé déjà ce phénomène dans les ascensions en montagnes. Les uns l'ont attribué au froid ambiant, d'autres

au travail exécuté, et j'ai parlé à ce propos, dans la partie historique, de la théorie de M. Lortet (voy. p. 297).

Mais les expériences ci-dessus rapportées montrent, par maints exemples, que la température des animaux décomprimés s'abaisse sans qu'ils produisent le moindre travail, sans que l'air soit refroidi, et sans qu'on puisse attribuer le phénomène au courant d'air qu'il faut établir autour d'eux pour éviter l'accumulation d'acide carbonique. La perte est généralement de 2 ou 3 degrés pour une diminution d'une demi ou de deux tiers d'atmosphère en une demi-heure, par exemple. Mais cela dépend du degré de la décompression, de sa durée et de l'espèce animale.

Ainsi, chez un chien de grande taille (exp. CCXVI, p. 706), amené en 2 heures à 25 centimètres de pression, la température avait baissé de 2 degrés.

Toutes les expériences donnent des résultats analogues. Je citerai particulièrement, parce qu'elle élimine l'influence du courant d'air (exp. CCXXII), celle où trois lapins furent soumis, l'un à un courant d'air à la pression normale, le deuxième à un courant sous pression de 50 à 55 centimètres, le troisième à un courant sous pression de 40 centimètres, le tout pendant 4 heures. Au bout de ce temps, la température était, pour le premier, de 39°,5 ; pour les deux autres, de 38°. Les oiseaux cités au chapitre Ier, sous-chapitre Ier, présentent des phénomènes du même ordre, sur le détail desquels il serait inutile d'insister.

Mais c'est avec les cochons d'Inde que j'ai pu obtenir les refroidissements les plus considérables. L'un d'eux (exp. CCXXIX), maintenu pendant une heure à 35 centimètres de pression, et pendant une heure encore à 25 et même 22 centimètres, n'avait plus, au sortir de la cloche, que 25° de température rectale. Mais déjà après quelques minutes celle-ci s'élevait à 31°, et l'animal survécut. Le cochon d'Inde de l'expérience CCXXVII, dont les respirations ont fourni le graphique de la page 715, qui resta près de 4 heures à osciller entre 21 centimètres et 11 centimètres, n'avait plus que 20° ; il est vrai qu'il mourut dans la nuit après l'expérience.

La décompression est donc, par elle-même, une cause de refroidissement. Dans les ascensions en ballon, cette cause s'ajoute à l'action directe d'un air glacial. Dans les voyages en montagnes, ces deux causes prennent une gravité plus grande, à cause de la dépense de forces exigées par l'ascension. C'est dans ces limites que l'idée de Lortet peut *à priori* être exacte; mais il faut nécessairement que la dépression empêche l'oxydation interne de s'activer comme elle le ferait à la pression normale : on n'aura jamais le *mal des montagnes* en grimpant une colline de 1000 mètres, fût-on même chargé des plus lourds fardeaux.

5° *Développement.* — Je crois devoir rapporter ici une expérience qui montre que le développement des chrysalides est entravé d'une manière notable par la diminution de pression.

Expérience CCXLVII. — 23 juin. — Des cocons de ver à soie, du même âge à un jour près, envoyés d'Alais par M. Raulin, sont placés :

A. 12 dans une cloche ouverte par en haut, à la pression normale par conséquent;

B. 18 dans une cloche de $3^l,2$, à la pression de 50 centimètres ;

C. 18 dans une cloche de 7^l; pression de 38^c;

D. 18 dans une cloche de 13^l; pression de 25^c;

E. 5 dans une cloche de 6^l; pression de 5^c.

La cloche D casse le 25 juin ; l'eau de la fermeture hydraulique y rentre avec l'air; on la laisse sans renouvellement. Tous les deux jours on change l'air des cloches B et C ; tous les jours celui de la cloche E.

Le 8 juillet, on arrête l'expérience, l'on ramène tout à l'air libre, et l'on ouvre les cocons.

Les cocons de A et D sont éclos du matin: papillons sortis dehors.

Des chrysalides de B, 3 sont transformées, mais les papillons sont restés dans le cocon.

Les autres sont très-vives, mais non transformées.

Celles de C sont assez vives, mais non transformées.

On n'ouvre pas les cocons de E.

Le 15 juillet, on trouve qu'il s'est encore transformé 3 chrysalides à B; tout est mort, du reste.

C : tout est mort également; mais sous la peau de la chrysalide on trouve la transformation déjà très-avancée.

D : tout mort, avec un degré de développement considérablement moindre.

Il serait intéressant de faire des expériences avec des œufs de grenouilles, des larves d'insectes, etc.

§ 6. — Limite inférieure de pression.

La valeur de la dépression à laquelle surviennent les divers accidents que je viens d'énumérer, celle de la limite inférieure incompatible avec la vie, varient suivant les espèces. Elles varient également suivant que les animaux sont restés calmes ou qu'ils se sont agités pendant la durée de l'expérience.

Chez les moineaux, le malaise commence généralement à se manifester aux environs d'une demi-atmosphère. L'animal commence à devenir inquiet; il cesse de sautiller, et ses respirations s'accélèrent; c'est vers 25 centimètres qu'il commence à vomir, à osciller sur ses pattes; bientôt il tombe, et si la dépression approche de la limite mortelle, il tourne sur lui-même et s'agite convulsivement. Nous avons vu plus haut que cette limite était d'ordinaire de 17 à 18 centimètres.

Elle peut varier, dans des limites assez étroites, pour la même espèce, d'un animal à l'autre, alors même que toutes les conditions de la vie paraissent bien identiques. En voici pour preuve une expérience :

Expérience CCXLVIII. 18 juin. — 4 moineaux : A, vieux mâle, vigoureux; B, C, D, femelles, bien portantes; tous réunis dans la même cage depuis plusieurs jours. Mis ensemble dans une grande cloche de 30 litres, sous courant d'air. Un linge qui recouvre la cloche les empêche de s'effrayer et de s'agiter inégalement; ils restent fort calmes pendant toute la première partie de l'expérience, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'ils souffrent de l'air raréfié.

La dépression commence à $4^h 45^m$.

A $4^h 49^m$, la pression n'est plus que de $38^c,8$: B et D vomissent à plusieurs reprises.

A $4^h 52^m$, pression $29^c,8$: A vomit à son tour.

$4^h 53^m$, pression $27^c,8$: C vomit ; D est très-malade.

$4^h 54^m$, pression $26^c,8$: tous haletants et accroupis, sauf C qui se tient sur ses pattes

$4^h 55^m$, pression $24^c,8$: tous marchent en se traînant deci delà; seul A reste immobile, le bec à terre.

$4^h 56^m$, pression $23^c,8$: le plus malade est évidemment A; puis

viennent D, puis B, puis enfin C, notablement mieux que les autres.

4h 58m, pression 21c,3 : A et D semblent mourants ; ils sont renversés, avec respiration haletante et convulsions.

4h 59m, je pousse jusqu'à 20c,3, puis j'ouvre tous grands les robinets : A et D restent quelque temps sur le dos, et ne se remettent qu'après les autres.

A 5h 30m, tous vont bien.

Ils survivent.

J'ai montré qu'il est possible, avec des précautions convenables, d'arriver jusqu'à 10 centimètres (p. 553), limite qui concorde avec celle qu'indique le calcul pour la pression minima de l'oxygène. Il faut pour cela opérer avec une très-grande lenteur. En allant brusquement, au contraire, on peut voir les troubles survenir beaucoup plus tôt, et, par exemple, la mort arriver tout à coup entre 25 et 30 centimètres. Il en est de même lorsque l'animal s'agite.

Inversement, il arrive souvent qu'un animal qui paraît fort mal à son aise, près de périr, sous une très-faible pression, se remet ensuite, se relève, et s'y accoutume fort bien.

Tous ces faits, qui compliquent la solution numérique du problème, sont parfaitement en rapport avec ce qu'indiquent les observations des voyageurs en montagne, et avec ce qu'on sait des conditions de l'asphyxie.

Plus ménagées seront les transitions, plus facilement s'obtiendra l'accoutumance ; plus grandes seront les dépenses d'oxygène, plus vite se fera sentir l'effet de sa privation. Les voyageurs, comme les oiseaux décomprimés, comme les animaux asphyxiés, d'une manière générale, souffrent d'autant plus qu'ils agissent davantage ; les voyageurs, nous en avons eu maints exemples, sont forcés, à certaines hauteurs, de s'arrêter pour s'accoutumer, de se coucher pour diminuer la dépense d'oxygène. Les faits que j'indique sont parfaitement en série avec ceci.

Ajoutez que, d'après un certain nombre d'expériences dont le résumé forme le tableau II (p. 560), la résistance est notablement moindre quand la température est très-basse. C'est une considération importante, car les voyageurs comme les aéronautes sont le plus souvent exposés à cette condition

déprimante. Or rien de plus naturel, la consommation d'oxygène devant être augmentée par le froid, sous peine d'un notable abaissement de la température du corps.

Espèces diverses. — Si maintenant nous considérons la résistance moyenne présentée par les diverses espèces, nous trouvons que, chez les oiseaux, les rapaces paraissent presque aussi sensibles à la dépression que les moineaux. Le fait est curieux, lorsqu'on pense aux hauteurs atmosphériques considérables qu'atteignent les grands oiseaux de proie.

L'expérience suivante, si on la rapproche de la précédente, qui a été faite le même jour, en donne une preuve plus nette encore que celles qui se tirent du tableau de la page 577.

EXPÉRIENCE CCXLIX. — 18 juin. — Mouette rieuse (*Larus ridibundus* Lin.) et Cresserelle (*Falco tinnunculus* Lin.).

La dépression s'est faite dans les mêmes conditions de rapidité que pour les moineaux de l'expérience CCXLVIII. Je résume dans le tableau suivant les phénomènes présentés, sous la même pression, par ces trois espèces :

PRESSION	CRESSERELLE	MOUETTE	MOINEAUX
38c,8	. . . .	. . . .	B, D vomissent.
34,8	. . . .	Vomit.	Id.
31,8	. . . .	Titube, vomit. . . .	Id.
29,8	. . . .	Id.	A vomit.
27,8	Vomit.	Id.	C vomit; D très-malade.
20,3	Couchée, très-malade. .	Couchée, plus malade que la cresserelle.	A et D mourants.
18,8	Id.	Va mourir; j'ouvre. .	J'ouvre.
17,8	Va mourir; j'ouvre.		

Ainsi, la cresserelle n'a guère qu'un centimètre d'avance sur la mouette, et deux ou trois sur les moineaux. Il serait bien intéressant de mettre en expérience, non plus seulement un représentant zoologique des rapaces de haut vol, mais un de ces oiseaux lui-même, un condor, par exemple ; malheureusement, cette bonne fortune n'est pas près d'arriver aux physiologistes.

Parmi les mammifères, les chats paraissent avoir une susceptibilité presque aussi grande que les moineaux. Elle l'est certes plus que celle des chiens, qu'il faut pour les

tuer pousser à 10 ou 8 centimètres. Nous avons vu, du reste, dans l'historique, que les chats sont difficiles à élever et même meurent rapidement sur les hauteurs (voy. p. 43, 49).

Les cochons d'Inde et les lapins sont très-faciles à amener à de basses pressions, et, leur température diminuant très-vite, ils passent, pour ainsi dire, à l'état d'animaux à sang froid.

C'est cet état dans lequel sont, par à peu près, les chats nouveau-nés : aussi meurent-ils un peu plus tard que les adultes.

J'avais espéré, en soumettant à la décompression un animal hibernant, l'amener à des pressions très-faibles aussi, pensant qu'il hibernerait, pour ainsi dire; mais la seule expérience que j'aie faite, avec un hérisson, a déçu mon attente (voy. p. 578). Il ne m'a pas été possible de dépasser 18 centimètres sans que la vie de l'animal semblât immédiatement menacée.

J'ajoute enfin que, comme on devait s'y attendre, les animaux à sang froid résistent à des pressions extrêmement basses.

§ 7. — **Mort.**

J'ai indiqué plus haut comment tantôt l'animal meurt sans aucun mouvement, tantôt il se relève et se roidit violemment avant d'expirer, tantôt enfin il a de véritables convulsions. Tout cela, nous l'avons vu, dépend de l'état d'épuisement dans lequel il est, du temps depuis lequel dure l'expérience, etc.

L'autopsie ne montre guère de résultats intéressants. Le sang est noir partout, excepté dans les veines pulmonaires, où il absorbe de l'oxygène pendant le retour à la pression normale. Il ne contient jamais de gaz libres.

Chez les mammifères, les poumons sont parfois un peu emphysémateux; presque toujours ils sont ecchymosés par places, quelquefois, mais rarement, avec hémorrhagie véritable; dans d'autres cas, à la suite de décompressions sou-

daines, je les ai vus comme carnifiés, revenus à l'état fœtal, et allant par gros fragments au fond de l'eau. Je tâcherai d'expliquer, en parlant des décompressions brusques, ce phénomène étrange.

Un fait curieux, c'est la rapidité avec laquelle survient la *rigidité cadavérique*. C'est un résultat que j'ai constaté avec soin chez les moineaux. Tandis que, si l'on coupe la tête à l'un de ces animaux, la rigidité cadavérique reste environ trois quarts d'heure avant de se manifester, elle survient entre 10 et 20 minutes après la mort dans l'air raréfié.

Je prendrai comme exemples un certain nombre des expériences rapportées au chapitre I (page 539 et suiv.). Elles permettent de dresser le tableau suivant :

TABLEAU XIII.

EXPÉRIENCES	PRESSION BAROMÉTRIQUE	TEMPÉRATURE	RIGIDITÉ CADAVÉRIQUE SURVENUE APRÈS	TEMPÉRATURE DE L'ANIMAL AU MOMENT DE LA RIGIDITÉ	OBSERVATIONS
XIX	76	19°	Plus de 38 min.		Tué par section du cou.
XVI	19c,7	id.	Moins de 25 min.	24° env.	A vécu 1h 45m; resté calme.
XVII	20c,8	id.	Moins de 20 min.	31°,6	Mort en 2m; convulsions violentes.
XVIII	27c,8	id.	17 minutes.	26°,7	A vécu 2h; pas de convulsions.
XX	30c,8	20°	15 minutes.	20°,5	A vécu 6h 53m; assez calme.
XXI	30c,3	id.	Moins de 20 min.	24° env.	A vécu 4h 25m; assez calme.
XXII	26c,1	id.	Moins de 17 min.	34°,7	Mort en 6m; sans grandes convuls.
XXIV	30c,3	id.	Moins de 20 min.	27°	A vécu 1h 31m; agitation.
XXVI	24c,2	20°,5	Environ 15 min.	28° env.	A vécu 2h 10m; grande agitation et convulsions violentes.
XXVII	24c,2	id.	11 minutes.	27°,2	A vécu 1h 50m; assez calme.
XXVIII	24c,2	id.	Moins de 20 min.	28° env.	A vécu 1h 4m; agitation.

On voit qu'il s'agit d'un phénomène absolument constant et indépendant à la fois de la rapidité de la mort, du calme ou de l'agitation de l'animal, et du degré auquel s'est abaissée sa température.

Il n'existe pas dans l'asphyxie en vases clos, à la pression normale (sauf dans les conditions de l'expér. CCL, p. 746);

et je ne crois pouvoir l'attribuer qu'à l'épuisement de l'acide carbonique du sang et des tissus, par le fait de la respiration dans l'air raréfié. Nous verrons dans le chapitre VIII que cet épuisement est réel.

SOUS-CHAPITRE II

COMPARAISON DES PHÉNOMÈNES DE LA DÉCOMPRESSION AVEC CEUX DE L'ASPHYXIE EN VASES CLOS.

J'ai déjà insisté à plusieurs reprises sur le parallèle entre les phénomènes de la décompression et ceux de l'asphyxie en vases clos, parallèle qui se poursuit jusque dans les moindres détails. Je l'ai fait, dans le premier chapitre (p. 554 et suiv.), en comparant la durée de vie des animaux dans l'un et l'autre cas, sous l'influence de conditions diverses. Je l'ai fait encore à propos des gaz contenus dans le sang artériel chez les animaux décomprimés et chez ceux qu'on asphyxie en vases clos, lorsqu'on soustrait l'acide carbonique au fur et à mesure de sa formation (chap. II, sous-chap. IV).

Les descriptions données par les innombrables auteurs qui ont fait périr des animaux par asphyxie concordent de tous points avec les phénomènes que nous venons d'énumérer. On a montré les respirations devenant en général plus rapides dans les premiers temps, pour se ralentir et prendre le caractère d'angoisse quand l'animal souffre notablement. Les pulsations, dans leur nombre, dans leur force, ont été beaucoup moins étudiées. Mais on n'a pas manqué de remarquer les nausées, les mouvements de trépidation, les convulsions terminales dans des circonstances que nous avons ailleurs tâché de préciser. Si les phénomènes de la nutrition n'ont pas été l'objet d'une attention suffisante, on n'a pas oublié l'abaissement de la température du corps, et M. Claude Bernard a signalé la disparition du sucre du foie dans les asphyxies lentes.

Il faut faire observer cependant que dans les conditions

d'asphyxie où ces expérimentateurs plaçaient leurs animaux, l'acide carbonique s'emmagasinait dans l'air ambiant, sans qu'on ait déterminé la part d'influence qui revenait à ce gaz, les uns la niant complétement, les autres l'exagérant à l'excès.

Les phénomènes relatifs à la diminution de l'oxygène absorbé, de l'acide carbonique et de l'urée excrétés par des animaux soumis à la respiration d'un air pauvre en oxygène, n'ont pas été étudiés avec un soin suffisant jusqu'ici. Je ne connais même rien qui soit relatif à l'excrétion urinaire, et cela se comprend : il ne serait rien moins que facile de maintenir pendant un temps considérable, dans un air appauvri et convenablement renouvelé, des animaux sur lesquels se pourrait faire une semblable expérience.

Relativement à l'absorption d'oxygène, j'ai bien souvent, en analysant à plusieurs reprises successives l'air d'une cloche où s'asphyxiait lentement un animal, constaté qu'au fur et à mesure que l'expérience marchait vers son dénouement fatal l'animal consommait de moins en moins d'oxygène pour des laps de temps égaux.

L'expérience CLXXXVII (p. 671) en montre un exemple : ici, l'acide carbonique était absorbé par de la potasse au fur et à mesure de sa formation, en telle sorte que la comparaison avec l'air pur dilaté est très-légitime ; or, dans les deux premières heures le chien avait consommé 41 pour 100 de l'oxygène du sac clos où il respirait, tandis que dans les 2 heures suivantes il n'en a consommé que 36 pour 100, le volume total du sac étant en outre fort réduit, par suite de l'absorption de l'acide carbonique.

Les expériences qui seront rapportées au chapitre VIII (sous-chap. II) déposeront dans le même sens. Ainsi la pauvreté de l'air en oxygène donne le même résultat que sa dilatation.

Quant à l'abaissement de température, les expériences du chapitre II, sous-chapitre IV (p. 670 et suiv.), nous indiquent des chiffres intéressants. Dans l'expérience CLXXXVII, où l'asphyxie a duré $4^h\ 45^m$, la température était tombée de 39°

à 34°,5. Dans l'expérience CLXXXVIII : durée, $4^h\ 30^m$; temp., de 38°,5 à 34°. Il y a donc là encore identité entre les deux termes que nous cherchons à comparer actuellement.

Si nous envisageons les phénomènes respiratoires et circulatoires, au simple point de vue du nombre des mouvements, nous trouvons, dans l'asphyxie comme dans la dépression, la même tendance générale et les mêmes irrégularités.

La figure 53 donne une idée de leur marche : le trait plein représente les résultats de l'expérience CLXXXVII, le trait pointillé ceux de l'expérience CLXXXVIII. La teneur de l'air en oxygène est inscrite sur l'axe des abscisses. Le nombre des respirations (R) et celui des pulsations (P) sur l'axe des ordonnées, à des échelles différentes.

On voit que dans ces tracés se manifeste, après une phase d'incertitude et d'irrégularité, une période d'accélération dans les deux ordres de mouvements, suivie d'une période de ralentissement soudain.

Dans quelques cas, à la fin de la vie, le cœur recommence à battre avec vitesse, mais ses battements sont très-faibles. C'est ce qui est arrivé dans une des expériences rapportées au sous-chapitre II du chapitre VIII, où les pulsations, après être tombées de 120 à 14 au moment où l'insensibilité de l'œil apparaissait, se sont, quand cessa la respiration, relevées soudain à 60 pendant quelques minutes.

Quant à la pression cardiaque, elle baisse avec lenteur d'abord, puis rapidement. La figure 54, dont les tracés sont relatifs à l'expérience CLXXXVII, montre la marche des maxima et des minima, en rapport avec la richesse de l'air en oxygène.

Tous ces phénomènes prouvent donc encore une fois l'identité des effets de la décompression avec ceux de l'asphyxie lente, ou, pour mieux dire, de la respiration d'un air pauvre en oxygène.

Cette identité se traduit encore par une coïncidence intéressante. Les détails des expériences rapportées dans le présent livre montrent que non-seulement la mort, mais les troubles divers apparaissent, dans l'asphyxie, à un degré de

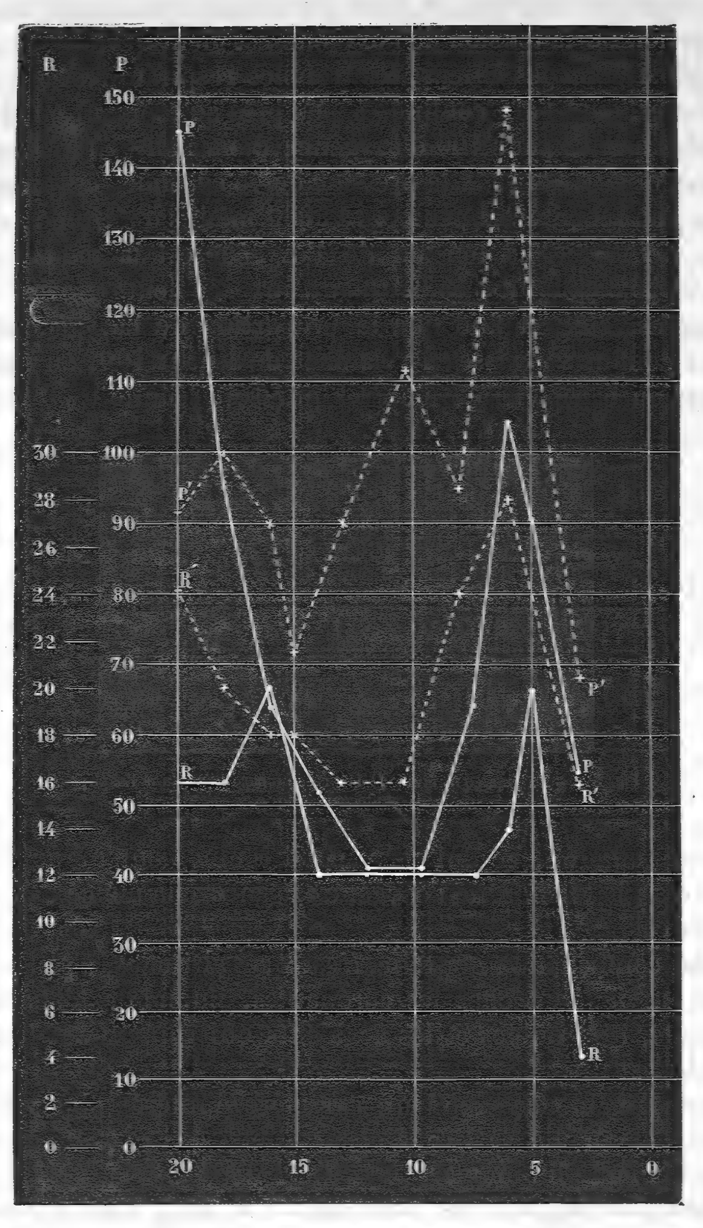


Fig. 55. — Asphyxie sans acide carbonique. Nombre des pulsations P, P', et des respirations R, R', en rapport avec l'appauvrissement graduel de l'air.

pauvreté en oxygène, et dans l'air dilaté à un degré de dépression où la tension de l'oxygène est identique.

Ainsi, chez les chiens, les troubles respiratoires sont manifestes, dans l'air confiné, à peu près au moment où il n'y a plus que 12 pour 100 d'oxygène ; dans l'air pur, ils apparaissent environ sous la pression de 43 centimètres, pression que l'on rencontre à peu près à 5000 mètres d'altitude ; dans les deux cas, la tension de l'oxygène est la même, car $12 \times 76 = 20,9 \times 43,6$. Quant aux accidents graves, aux nausées, etc., il faut que la proportion de l'oxygène dans l'air confiné s'abaisse au voisinage de 8 pour 100, ou que la pression barométrique de l'air pur soit réduite à 30 centimètres environ, ce qui correspond à une hauteur de 7300 mètres : la tension de l'oxygène est encore la même dans les deux cas.

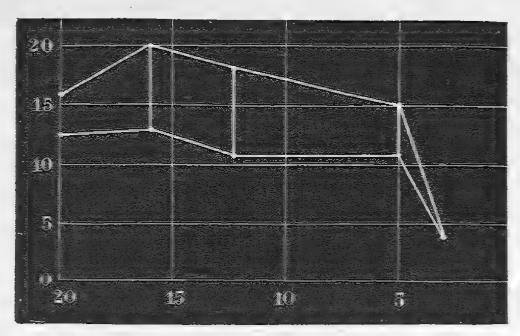


Fig. 54. — Maxima et minima de la pression cardiaque dans l'asphyxie sans acide carbonique.

Or, confirmation nouvelle, c'est à ces altitudes, à peu près, que surviennent chez les aéronautes, immobiles dans leur nacelle, les troubles et les accidents qui constituent le *mal des ballons*.

La coïncidence prend un caractère d'intérêt plus vif encore, lorsqu'elle se tire d'observations qui ont été prises sur l'homme lui-même.

Les plus importantes sont dues à M. Félix Leblanc[1], qui

[1] *Recherches sur la composition de l'air de quelques mines* (*Annales de chimie et de physique*, 5e série, t. XV).

a eu l'occasion d'analyser l'air des mines de Poullaouen et d'Huelgoat, en Bretagne, et dont le mémoire contient de précieuses indications sur les sensations des ouvriers qui travaillent dans ces mines.

Les pyrites qui existent en abondance dans les filons exploités s'emparent d'une partie de l'oxygène de l'air qui se trouve ainsi appauvri sans être, comme cela arrive dans les lieux confinés, vicié en même temps par de l'acide carbonique ou d'autres gaz.

Des faits rapportés par M. Leblanc, nous extrayons les suivants :

A : Dans un endroit où il n'y a plus que 16,7 pour 100 d'oxygène, la respiration est peu gênée, mais l'air est trouvé *faible* par les mineurs ;

B : Avec 15,3 d'oxygène, on peut respirer d'une manière continue et sans trop de difficultés ;

C : Avec 9,8 d'oxygène, l'air est asphyxiant, et au bout de 1 à 2 minutes on se sent pris de défaillance. M. Leblanc, qui s'y soumit sans transition, faillit se trouver mal, et le maître mineur qui l'accompagnait fut saisi de vertiges et de nausées.

Or, dans l'observation A, la tension de l'oxygène équivaut à celle existant dans l'air pur à 60^c,4 de pression ; ce qui correspond à une altitude de 1800 mètres. Pour l'observation B, la pression équivalente est 55^c,3, et l'altitude 2500 mètres. Pour C, la pression est 35^c,4, et l'altitude 6000 mètres.

Il est hors de doute qu'un habitant de la plaine, transporté subitement à des hauteurs de 1800 et surtout de 2500 mètres, et forcé de s'y livrer aussitôt au dur travail des mineurs, trouverait comme eux que l'air est faible et sentirait sa respiration un peu oppressée. Il est hors de doute qu'un aéronaute qui serait, aussi instantanément que dans l'observation de M. Leblanc, transporté à 6000 mètres de hauteur, et qui voudrait, comme ce chimiste, faire l'effort nécessaire pour gravir un talus et vider un flacon plein de mercure, serait, lui aussi, atteint aussitôt d'accidents assez graves.

Enfin, dernière ressemblance sur laquelle nous appelons l'attention, la rapidité singulière avec laquelle survient la rigidité cadavérique des animaux morts dans l'air raréfié (voy. p. 739) se retrouve dans la mort par asphyxie, lorsqu'on a soin d'éliminer l'acide carbonique formé en l'absorbant par la potasse. Exemple :

EXPÉRIENCE CCL. — 20 mars. A 3^h, un verdier est placé dans une cloche de 3^l sur un trépied qui l'isole d'un cristallisoir plein d'une solution de potasse. Un tube coudé fait communiquer cette cloche avec une autre qui repose sur la cuve à eau, et dans laquelle l'eau montera au fur et à mesure de l'absorption de CO^2, en sorte que la pression restera toujours la même

A 4^h, l'oiseau, qui s'est un peu agité au début, se couche et demeure en repos : respiration haletante.

Il meurt à $6^h 23^m$; temp. rectale 31°.

La rigidité commence aux ailes à $6^h 34^m$; elle est complète à $6^h 45^m$.

Notre parallèle entre les accidents de la décompression et ceux de l'asphyxie est donc complet, et se poursuit jusque dans les moindres détails avec une remarquable précision.

Tout se résume, dans l'un et l'autre cas, en cette formule : troubles nutritifs dus à l'introduction dans l'organisme, dans un temps donné, d'une quantité insuffisante d'oxygène.

SOUS-CHAPITRE III

DES MOYENS DE CONJURER LES ACCIDENTS DE LA DÉCOMPRESSION.

Les faits si nombreux qui ont été énumérés jusqu'ici ont montré de la manière la plus nette que les accidents de la décompression sont dus non à la soustraction de la pression atmosphérique, mais à la diminution de la tension de l'oxygène, qui ne pénètre plus alors dans le sang et, par suite, dans les tissus, en quantité suffisante pour entretenir les combustions vitales à leur degré d'énergie normale. La prophylaxie de ces accidents se déduit tout naturellement de cette notion précise.

La tension d'un gaz, avons-nous déjà dit bien souvent, est exprimée par le produit $P \times Q$ de la pression barométri-

que P que multiplie la proportion centésimale Q du gaz dans le mélange ambiant. Si donc, en même temps qu'on fait, par le jeu de la pompe pneumatique, diminuer le facteur P, on augmente le facteur Q, rien ne sera changé à la tension, et les accidents devront être conjurés. Du même coup, si l'événement justifie nos prévisions, la théorie qui leur sert de base se trouvera une fois de plus vérifiée.

Mais l'expérience, sous la forme que je viens d'indiquer, est très-difficile à réaliser. On arrive aux mêmes conclusions en l'exécutant dans les conditions de celle dont je vais ici exposer les détails :

Expérience CCLI. 23 avril. — Moineau, sous une cloche de 1l,5, sur la platine de la machine pneumatique. La pression extérieure est de 75 cent.

3h 20m, amené en quelques minutes à 25c de pression : 212 respirations à la minute.

A 21c, tourbillonne, culbute, va mourir. Je rétablis la pression normale en laissant rentrer de l'air très-riche en oxygène (par accident, il rentre en même temps de l'air extérieur) ; l'oiseau se remet immédiatement et paraît vif et bien portant.

3h 30m, l'air contient alors 35 p. 100 d'oxygène. J'amène l'oiseau à 18c de pression ; il est alors fort malade, avec 176 respirations ; je laisse rentrer de nouveau de l'oxygène, il revient aussitôt à lui.

3h 40m, l'air contient 77,2 p. 100 d'oxygène. L'oiseau sous 13c de pression a 168 respirations, mais il ne culbute qu'à 10 centim. Se remet également aussitôt après la rentrée d'air suroxygéné.

3h 50m, l'air contient 87,2 p. 100 d'oxygène. Le moineau, à 10c, a 176 respirations, et ne paraît pas menacé ; mais à 8c, il culbute sur le dos et va mourir. Nouvelle rentrée d'oxygène, se remet encore.

4h 5m, l'air contient 91,8 p. 100 d'oxygène. On pousse jusqu'à la pression de 7c,5 ; l'oiseau est fort malade, et l'on n'a que le temps d'ouvrir les robinets.

Les tensions minima de l'oxygène ont été successivement 5,8 ; 6,3 ; 10 ; 9,2 ; 9,1.

Il survit.

Ainsi, les dépressions tout à l'heure redoutables sont devenues successivement inoffensives, parce que la richesse en oxygène de l'air a été suffisamment et progressivement augmentée. On a gagné 12,5 centimètres avant de voir reparaître les symptômes qui annoncent une mort menaçante, et on est arrivé à voir un oiseau survivre, après avoir été soumis à

la pression prodigieusement faible de 7c,5. Je ne doute pas qu'on ne puisse aller plus loin encore en marchant avec une suffisante lenteur.

J'ai très-souvent répété en public cette expérience très-simple, qui peut être exécutée dans tous les laboratoires de physique, et qui est à la fois extrêmement probante et extrêmement saisissante. La figure 55 en montre le dispositif expérimental.

A elle seule, elle suffirait pour entraîner la conviction ; on peut, pour en augmenter la puissance démonstrative, la compléter par l'expérience cruciale suivante :

Expérience CCLII. — 24 avril. — Sous une cloche de 2l,5, placée sur la platine de la machine pneumatique, et préalablement remplie d'un air très-riche en oxygène, on introduit un moineau. Pression extérieure, 75 cent.

L'air contient alors 86,2 p. 100 d'oxygène; on fait la diminution de

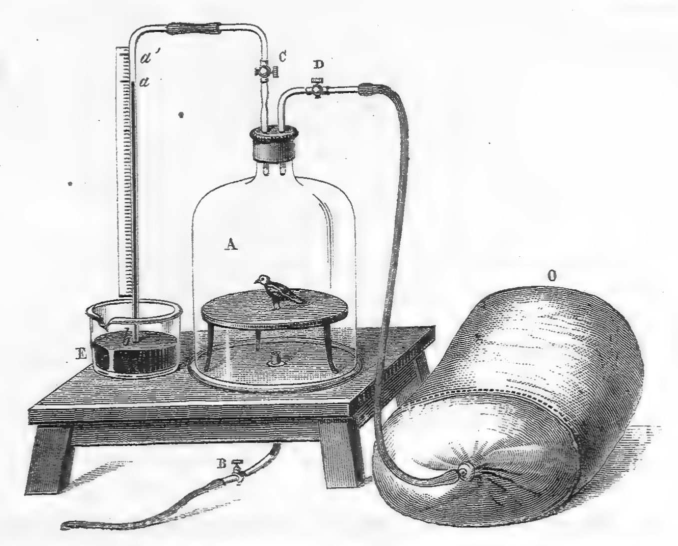


Fig. 55. — Oiseau dans un air de plus en plus dilaté et de plus en plus oxygéné.
A. Cloche communiquant en B avec la machine pneumatique, en C avec un tube barométrique, en D avec un sac plein d'oxygène O.

pression. A 5h 30m, la pression n'est plus que de 13c,5; l'oiseau est agité et volète dans la cloche. A 9c,5 il est très-malade et va mourir. On laisse rentrer de l'air un peu suroxygéné. L'oiseau se remet aussitôt.

5^{h} 38^{m}, l'air contient 55,7 d'oxygène; on recommence la diminution de pression, sans pouvoir aller plus loin que 11^{c}. Rentrée d'air un peu suroxygéné; animal bien remis.

5^{h} 45^{m}, l'analyse de l'air a été perdue. Par la dépression, on n'atteint que 13^{c}. Encore cette fois, l'oiseau est-il tellement malade, qu'il reste quelques secondes immobile sur le dos après qu'on a rétabli la pression normale avec de l'air ordinaire.

5^{h} 55^{m}, l'air ne contient plus que 22 p. 100 d'oxygène; aussi ne peut-on dépasser 18^{c}.

6^{h} 5^{m}, cette fois on opère avec de l'air ordinaire; à 20^{c},5 l'oiseau est fort malade; mais il revient parfaitement à lui sous la pression normale. Il a au crâne un piqueté sanguin assez abondant.

La tension de l'oxygène au moment où il fallait rétablir la pression a successivement été de 10,7; 8,0; 5,0; 5,6.

On peut mettre cette dernière expérience sous une forme plus simple encore :

Expérience CCLIII. — 5 juin. Gros-bec verdier (*Fringilla chloris* Lin.). Mis sous la cloche de la machine pneumatique.

Pression lentement diminuée; malade à 30^{c} de pression réelle, et, comme il s'est un peu agité, est assez mal en point à 22^{c}.

Je laisse alors rentrer dans la cloche, pour rétablir la pression normale, de l'*azote* pur. L'animal, loin de se remettre, périt presque aussitôt.

Il a dans le diploé crânien un énorme épanchement noir.

Quel que soit le procédé opératoire employé, ces diverses expériences montrent de la manière la plus nette, à la fois la cause des accidents de la décompression et le moyen de les conjurer.

Je ne pouvais évidemment me borner, au moment d'émettre des préceptes pratiques destinés aux voyageurs en montagne et aux aéronautes, à des expériences faites sur des animaux, si convaincantes qu'elles fussent.

Je résolus de commencer par expérimenter sur moi-même. J'avais déjà, dans mes grands cylindres en tôle, subi l'influence d'assez notables dépressions, jusqu'à éprouver certains malaises. Je pensai alors à m'y soumettre de nouveau, pour faire disparaître les accidents en respirant un air suroxygéné.

Je plaçais alors à côté de moi, dans l'appareil, un grand sac de caoutchouc, contenant un air d'autant plus riche en

oxygène, que la dépression devait être plus forte. La figure 56 indique suffisamment la disposition des expériences.

Je reproduis ici les détails de trois d'entre elles, et d'une

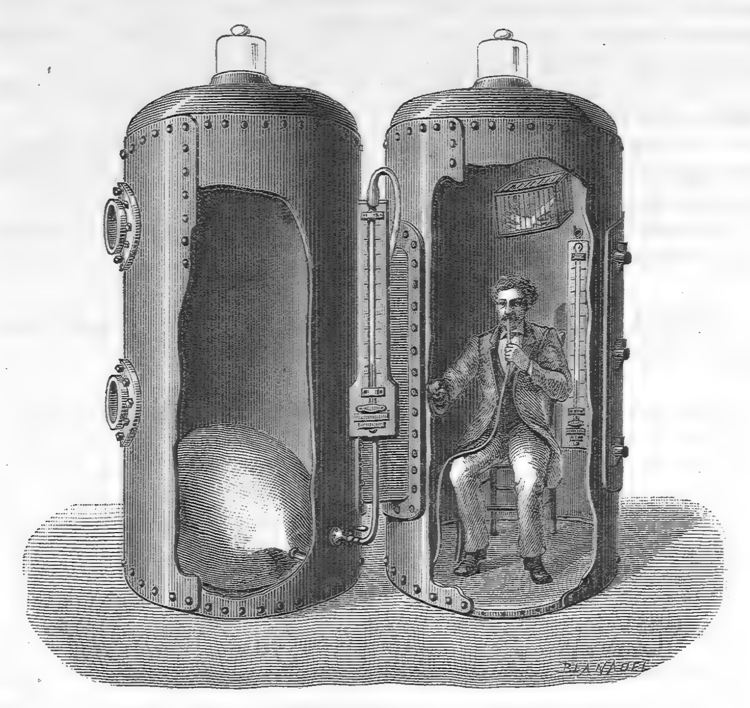


Fig. 56. — Respiration d'un air suroxygéné, dilaté par la diminution de pression.

quatrième qui fut faite par mes regrettés collègues et amis MM. Crocé-Spinelli et Sivel :

Expérience CCLIV. — 20 février 1874. — Pression extérieure 758^{mm}.

2^h 30^m, j'entre et m'installe assez à mon aise dans les cylindres, ayant avec moi un sac rempli d'un air extrêmement riche en oxygène ; à côté de moi, un moineau dans une cage.

Mon pouls donne 64 ; ma température sous la langue prise avec un très-grand soin est de 36°,5 ; une expiration dans un spiromètre de Hutchinson me donne une valeur désignée sur l'échelle arbitraire par 17,3.

2^h 37^m, la porte est fermée, la dépression commence.

2^h 45^m, pression 710^{mm} ; pouls 68.

2^h 58^m, pression 590^{mm} ; pouls 70 ; je suis à une dépression correspondante à peu près à la hauteur de Mexico, 2150^m.

3h 2m, 535mm ; 73 pulsations.

3h 6m, 500mm ; il s'échappe des gaz intestinaux.

3h 8m, 465mm ; 78 pulsations.

3h 12m, 450 mm ; pouls 84 ; c'est la dépression de Calamarca, par 4150m ; j'ai quelques sentiments de nausées.

3h 14m, 450mm ; le pouls s'abaisse à 80 ; les nausées disparaissent ; j'ai le ventre un peu gonflé ; je me sens la face congestionnée avec quelques légers éblouissements.

3h 17m, 430mm, pouls 84. Je respire trois fois de l'oxygène ; mon pouls tombe à 78 ; j'ai quelques éblouissements.

A 3h 21m, la pression n'est plus que de 418mm ; ce qui correspond à la hauteur du Mont-Blanc, 4800 mètres ; mon pouls a continué de descendre après quelques respirations d'oxygène ; il n'est plus qu'à 70 ; à chaque respiration, un éblouissement.

3h 23m, 420mm ; je me lève en respirant de l'air ; mon pouls monte immédiatement à 96, puis à 100 ; j'ai un vertige net ; je me rassieds.

3h 25m, 445mm ; le pouls retombe à 90, puis, après une inspiration d'oxygène, à 70, à 3h 26m, sous la pression 460mm.

3h 28m, 450mm ; l'oiseau tombe dans sa cage.

3h 30m, 440mm ; pouls 76 ; renvois gazeux par la bouche.

3h 32m, 435mm.

Ayant voulu, sans quitter ma chaise, élever la jambe droite, celle-ci est prise de tremblements convulsifs dans les muscles du mollet et de la cuisse, tremblements que je ne puis maîtriser avec la main ; ils cessaient lorsque j'appuyais fortement le pied à terre ; la température sous la langue est de 36°8.

3h 34m, 443mm ; pouls 80. Une inspiration d'oxygène.

3h 35m, 445mm ; le pouls tombe aussitôt à 70 ; ayant essayé de siffler, à ce moment, je remarque que cela m'est impossible.

3h 37m, 436mm ; pouls 80.

3h 39m, 430mm ; je souffle dans le spiromètre ; éblouissement ; je n'ai plus que 11,8.

3h 43m, 435mm ; pouls 80.

3h 45m, 423mm ; pouls 90. Je fais plusieurs inspirations d'oxygène ; éblouissement.

3h 47m, 423mm ; le pouls est retombé à 69.

3h 48m, 423mm ; je m'agite sur ma chaise ; léger éblouissement.

3h 49m, 425mm ; pouls78.

3h 50m, 420mm ; pouls 86.

3h 51m, 418mm ; pouls 87 ; je fais une inspiration d'oxygène.

3h 53m, 426mm ; pouls 78.

3h 55m, 430mm ; pouls 80 ; quelques inspirations d'oxygène ; éblouissement.

3h 57m, 430mm ; pouls 72.

2h 59m, 420mm ; pouls 84. Je me sens assez mal à mon aise ; ayant trouvé pour le nombre de mes pulsations pendant 20 secondes 28, j'ai la plus

grande peine à multiplier ce nombre par 3, et j'inscris sur mon carnet de notes « *difficile à calculer* ».

$4^h\ 1^m$, 413^{mm} ; 88 pulsations.

$4^h\ 3^m$, 408^{mm}; 92 pulsations ; sensations nauséeuses pénibles ; éblouissements; congestion à la tête; tremblements convulsifs en levant la jambe.

$4^h\ 4^m$, 415^{mm}; 90 pulsations; je respire de l'oxygène; éblouissements.

$4^h\ 5^m$, 416^{mm} ; 75 pulsations seulement.

$4^h\ 7^m$, 420^{mm} ; je souffle dans le spiromètre, et ne vais qu'à 9,9 ; éblouissements et vertiges après avoir soufflé.

$4^h\ 9^m$, 430^{mm}; température sous la langue, 36°,7.

$4^h\ 14^m$, 445^{mm} ; pouls 78; je fais trois inspirations d'oxygène ; éblouissements; le pouls tombe aussitôt à 63.

$4^h\ 18^m$, 452^{mm}; pouls 79; cinq fois je fais des inspirations d'oxygène, séparées chacune par deux inspirations d'air.

$4^h\ 20^m$, 450^{mm} ; le pouls est revenu à 63. L'oiseau, jeté en l'air, tombe en tourbillonnant, et se laisse prendre à la main.

$4^h\ 24^m$, 465^{mm}; pouls 72; je fais un effort et me lève ; le pouls monte aussitôt à 84.

$4^h\ 26^m$, 490^{mm}; pouls 72; je fais quelques inspirations d'oxygène; éblouissements.

$4^h\ 29^m$, 495^{mm}; pouls 60.

$4^h\ 33^m$, 500^{mm}; pouls 25; plusieurs inspirations d'oxygène; le pouls tombe à 64; j'essaie en vain de siffler.

$4^h\ 37^m$, 540^{mm}; pouls 69 ; l'oiseau refuse de s'envoler de dessus la cage, mais est bien réveillé.

$4^h\ 38^m$, 555^{mm} ; je ne peux pas siffler.

$4^h\ 40^m$, 590^{mm}; pouls 63; je commence à pouvoir siffler assez facilement.

$4^h\ 45^m$, 759^{mm} ; pouls 58 ; température sous la langue, 36°,6.

La température intérieure de l'appareil n'a pas varié.

Dans cette première expérience, les respirations d'air oxygéné ont été intermittentes, et l'effet de chacune d'elles s'est montré instantanément. Les nausées disparaissaient, le bien-être renaissait aussitôt. Le nombre des pulsations, et c'est là un signe des plus précis, diminuait immédiatement pour revenir bientôt après à son chiffre primitif.

Les tracés de la figure 57 expriment d'une manière très-nette ces curieuses modifications. Les heures sont marquées sur l'axe horizontal. Le tracé supérieur représente la marche décroissante de la pression barométrique, avec la hauteur correspondante à quelques dépressions; le tracé inférieur

indique les oscillations du nombre des pulsations. On voit à toutes les inspirations d'oxygène, marquées O, une chute

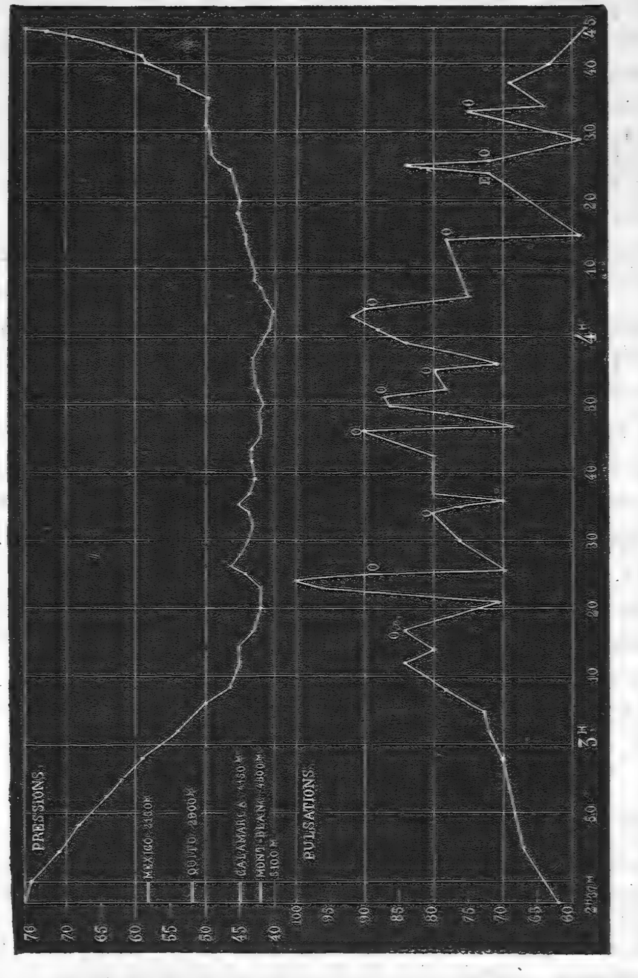


Fig. 57. — Modifications brusques du nombre des pulsations par des respirations intermittentes d'air suroxygéné. Tracé supérieur, marche de la dépression; tracé inférieur, nombre des pulsations; O, inspiration d'oxygène.

instantanée de cette dernière ligne : la démonstration est des plus nettes.

Des modifications aussi brusques dans le rhythme circulatoire ne peuvent être sans inconvénients : aussi, c'est à elles que j'attribue les éblouissements qui accompagnaient chaque

inspiration d'oxygène. J'ajoute que, le soir de cette expérience, j'éprouvai pendant plusieurs heures des phénomènes de congestion cérébrale qui n'ont pas laissé de m'inquiéter quelque peu.

Je prie également le lecteur de remarquer les tremblements musculaires et le singulier état d'affaissement intellectuel dans lequel je me suis trouvé en arrivant à la pression de 420^{mm}, c'est-à-dire, à peu près à celle qu'on subit à la hauteur du mont Blanc : je me trouvai presque incapable de multiplier, le crayon en main, 28 par 3.

Le 9 mars suivant, MM. Crocé-Spinelli et Sivel, qui projetaient d'exécuter des ascensions à grande hauteur, vinrent à mon laboratoire dans le but d'étudier sur eux-mêmes les effets déplaisants de la décompression et l'influence favorable de l'air suroxygéné.

Je ne saurais mieux faire que de reproduire ici la narration que rédigea immédiatement pour moi M. Crocé-Spinelli, d'après les notes que M. Sivel et lui prenaient assidûment dans l'appareil, des phénomènes qu'ils avaient tous deux éprouvés.

Expérience CCLV. — La diminution de pression s'opéra régulièrement; en 35 minutes ils furent amenés à 304^{mm}; le retour à la pression normale se fit en 22 minutes. Ils sont ainsi restés pendant 25 minutes au-dessous de 450^{mm} de pression.

Paris, le 10 mars 1874.

Monsieur,

Je vous transmets les faits que nous avons constatés et les impressions que nous avons ressenties, M. Sivel et moi, dans vos cloches à dépression, le 9 mars 1874.

L'émotion n'a pas sensiblement influencé ces observations, car elle a été presque nulle, je crois, chez M. Sivel, et extrêmement faible chez moi pendant toute la durée de l'expérience. La préoccupation continuelle de constater des faits donne de cela une explication satisfaisante.

L'expérience commença à $10^h 31^m$.

Les premiers moments de la dépression ne donnèrent lieu à aucune impression désagréable. A $10^h 34^m$ je constatai chez M. Sivel, à la pression de 70,5 centimètres de mercure, 80 pulsations; et, très-peu après, à 68 cent., 92 chez moi. A $1^h 40^m$, pression 56^c, le pouls de M. Sivel donne

100 et le mien également 100. A 1ʰ 44ᵐ, pression 51ᶜ, mon pouls donne 116 et celui de M. Sivel 108.

C'est à partir de la pression de 48ᶜ environ que l'oppression commence à se manifester sensiblement. Je deviens plus paresseux et me contente d'examiner ce qui m'influence. Je sens de la chaleur à la face, ce que ressent également M. Sivel vers la pression de 44 centimètres. J'ai en outre des picotements à la tête, des démangeaisons qui me font l'impression d'un mal aux cheveux. L'énergie morale n'a d'ailleurs nullement été affaiblie, car nous sommes gais et causeurs.

A 1ʰ 40ᵐ vers 41 centimètres, M. Sivel inspire l'oxygène du ballonnet, non pas par besoin, mais pour diminuer la tension considérable du récipient qui est prêt d'éclater. Sous la pression de 40 cent., je me sens mal à mon aise, la tête est serrée comme dans un étau et je ressens l'impression d'une barre de faible diamètre sur laquelle j'appuierais fortement mon front. Mon pouls donne 135 pulsations.

A 1ʰ 57ᵐ, sous la pression de 39 centimètres, j'aspire quelques gorgées d'oxygène du sac que me tend M. Sivel. Je me sens soulagé et mon pouls redescend à 128, bien que la dépression continue à se produire.

Nous nous passons le sac à oxygène. Mon compagnon en use jusqu'au maximum de dépression, 5 ou 6 fois d'une manière souvent copieuse, et moi 3 ou 4 fois d'une façon généralement plus modérée et même maladroite, car, éprouvant d'abord un certain dégoût à inspirer ce gaz qui sent le caoutchouc, j'en laisse perdre une assez grande quantité. Cependant, à mesure que la pression diminue, je surmonte plus facilement cette répugnance et je ressens instinctivement la nécessité d'absorber ce gaz. Mon pouls donne à 38 et 37 centimètres 128 pulsations après absorption d'oxygène ; à 35 cent. il est à 132. Il est certain que sans l'oxygène inspiré il serait plus élevé.

Voici ce que produisit chez M. Sivel l'absorption du gaz comburant : la cloche lui paraissait se mouvoir comme pendant l'ivresse, et cela pendant quelques secondes ; il ressentait comme une légère atteinte de mal de mer. Puis, ce malaise se dissipait et l'esprit devenait plus précis qu'avant l'inspiration.

Chez moi, les mêmes impressions m'affectèrent, mais d'une manière plus marquée. De plus, au-dessous de 35 centimètres, mes regards, qui s'obscurcissaient, devenaient très-sensiblement plus nets après l'absorption d'oxygène. Je voyais clair après avoir vu noir ; l'intérieur de la cloche semblait tout à coup devenir plus lumineux.

A ces faibles pressions, l'esprit s'était beaucoup alourdi chez tous deux, mais surtout chez moi. Pendant les quatre minutes qui précédèrent le moment où nous arrivâmes à 30,4 centimètres, je ne prenais guère que les notes des pressions que me dictait à très-haute voix M. Sivel, et les calculs les plus simples me semblaient difficiles. J'étais très-sourd et me faisais répéter plusieurs fois les indications de pression. L'air ne semblait plus conduire le son.

A 11ʰ 8ᵐ, sous la pression de 30ᶜ,4, ni M. Sivel ni moi ne disons plus

rien. Nous avions été cependant très-gais, très-causeurs et remuants jusque vers 37 centimètres. Nous n'avions plus, il est vrai, d'oxygène, et cette constatation occasionna chez moi une sorte de regret instinctif. M. Sivel avait alors l'esprit un peu vacillant, et moi j'étais dans un état de prostration assez marquée. L'atonie n'était cependant pas arrivée à un tel point que nous n'eussions pu encore supporter, assez difficilement, il est vrai, deux ou trois centimètres de dépression, surtout M. Sivel, qui s'est toujours montré moins influencé que moi.

Pendant toute l'expérience, nous n'avons constaté ni l'un ni l'autre de ballonnement abdominal ni d'oppression pulmonaire, ce qui m'étonne pour moi qui ai les bronches très-sensibles. La face avait fini par s'empourprer fortement. M. Sivel était devenu violet foncé, et moi, qui suis ordinairement pâle, violet léger. Mon oreille droite était très-rouge.

M. Sivel, ayant constaté mon état de grand malaise, me demanda si je croyais qu'on devait arrêter la dépression. Je répondis que oui, parce qu'il n'y avait plus d'oxygène. Le souvenir de ce fait ne m'est pas revenu de suite après l'expérience, et ce n'est qu'au moment où j'écris qu'il devient pour moi très-net.

On arrêta alors la machine et on ouvrit les robinets d'entrée d'air. Voici le nombre de pulsations constaté pendant la période de recompression : chez moi, à 52^c, 104 pulsations; à 59^c, 100 pulsations; à 66^c, 96 pulsations. Chez M. Sivel, à 62^c, 98 pulsations.

En 7 minutes, nous revînmes à 45 centimètres, et malgré la rapidité de la montée de la pression, non-seulement nous ne ressentîmes aucun malaise, mais bien au contraire, moi surtout, nous éprouvions une sensation très-agréable. Ce n'est qu'après que les bourdonnements commencèrent à se faire sentir chez tous les deux. M. Sivel but de l'eau et mangea un peu, et par deux fois, son oreille se débouchant tout à coup, il se sentit soulagé. Je fus plus sensible aux bourdonnements que lui ; mon oreille ne se déboucha qu'une fois et je souffris assez violemment. Cette souffrance s'accrut vers 70 centimètres, quand les opérateurs, ne voyant sur le manomètre extérieur que quelques centimètres de dépression, ouvrirent beaucoup le robinet de rentrée d'air. Il est probable que c'est cela qui occasionna les maux d'oreilles qui survinrent chez moi après l'expérience.

En sortant de la cloche à 11^h 30^m, après 59 minutes d'expérience, j'avais une sensation de coton dans les oreilles, fortement tamponné, mais je ne souffrais pas. La tête était libre, mais l'esprit un peu fébrile. Toute la journée je sentis les oreilles, surtout la droite, très-lourdes. Le soir celle-ci me fit souffrir. Couché à 11^h, je ne pus m'endormir qu'à 4 heures du matin. J'avais non-seulement des élancements et une névralgie temporale, mais encore l'oreille intérieure semblait comme tuméfiée, et une pression de la main produisait une impression douloureuse. Je calmai la douleur en m'entortillant la tête de linges. Quant à M. Sivel, cette expérience ne lui laissa aucun malaise.

Je dois dire que mon compagnon de cloche est de tempérament san-

guin, qu'il jouit d'une excellente santé, et qu'il possède une apparence très-vigoureuse. Il est habitué aux voyages de long cours, sur mer et sur terre, et il a fait deux ascensions aérostatiques. Quoique d'une bonne constitution, je suis évidemment moins fort que lui. Je possède un tempérament lymphatico-nerveux.

Je crois qu'il est bon de comparer les sensations ressenties dans la cloche avec celles que j'ai éprouvées dans l'ascension à 4600 mètres, sous une pression barométrique de 429^{mm}, exécutée par moi, en compagnie de MM. Jobert, Pénaud, docteur Pétard et Sivel. Dans cette ascension, je ne ressentis aucune impression désagréable, pas plus que mes compagnons, provenant de la dépression. Or dans la cloche, vers 50 centimètres, la face me piquait, ce que M. Sivel ressentait vers 44 centimètres. Avant 429^{mm}, le malaise était déjà très-notable et j'avais la sensation de la barre sur le front, tandis qu'il n'y a eu rien de semblable pendant l'ascension. Dans la cloche je possédais 116 pulsations à 51 centimètres, et 135 à 40 centimètres, et dans la nacelle de l'aérostat, j'en avais 116 entre 43 et 44 centimètres. M. Sivel avait 108 pulsations à 46^{c},5 dans la cloche, et à 43^{c},110 dans la nacelle.

Les bourdonnements furent ressentis par moi absolument dans l'ascension comme dans la cloche. Dans la descente aérostatique, j'avais comme du coton dans les oreilles. Cette impression dura jusqu'au lendemain, mais la douleur ne fut jamais que très-faible. Comme dans la cloche, la douleur s'était accrue dans les derniers centimètres de dépression, à cause de la rapidité de la descente.

Dans cette expérience, les deux aéronautes descendirent à la pression de 304^{mm} de mercure, correspondante à une hauteur de 7300^{m}. Ils ont été, par suite, beaucoup plus vivement impressionnés que je ne l'avais été, n'ayant pas dépassé 418^{mm}, hauteur de 5100^{m} ; les phénomènes nerveux ont chez eux dominé la scène : l'obscurcissement de la vue, la paresse intellectuelle, ont été des plus remarquables chez M. Crocé-Spinelli. M. Sivel, qui était entré à jeun dans l'appareil, commença à manger pendant la décompression ; bientôt il s'arrêta, et comme je lui faisais, à travers les hublots de verre, signe de continuer, il me répondit par un geste de dégoût.

L'action favorable de l'oxygène a été également des plus manifestes ; après quelques inspirations, les phénomènes fâcheux disparaissaient. A un certain moment, aux très-basses pressions, les lèvres et l'oreille droite (la seule que je voyais) de M. Crocé-Spinelli étaient devenues tellement violacées que je me disposais à ouvrir les robinets lorsqu'il prit à la

bouche le tube d'oxygène : l'effet, c'est-à-dire le retour à la teinte normale, fut instantané. M. Crocé-Spinelli m'a raconté en sortant de l'appareil qu'il avait eu à ce moment recours à l'oxygène, parce qu'il ne voyait presque plus son papier, lequel, à la première inspiration, lui apparut soudain tout blanc, comme par une sorte d'éblouissement.

Dans ces deux expériences, l'oxygène n'avait été employé que d'une manière intermittente, pour diminuer pendant quelques instants la gravité des accidents de la décompression. Je voulus opérer un peu différemment, laisser arriver les malaises jusqu'à un certain degré, pour respirer alors d'une manière continue l'air suroxygéné, tout en continuant à diminuer encore la pression barométrique, et voir ce qui adviendrait.

Voici le récit de deux expériences faites d'après ce procédé expérimental :

EXPÉRIENCE CCLVI. — 28 mars. — J'entre dans l'appareil à $10^h 55^m$; la porte est fermée à $11^h 4^m$; j'ai alors 58 pulsations à la minute. Pression barométrique, 761^{mm};

$11^h 10^m$; pression 715^{mm}; pouls, 62 ;

$11^h 20^m$; 580^{mm}; pouls, 63;

$11^h 23^m$; 535^{mm}; pouls, 63; quelques sensations nauséeuses;

$11^h 25^m$; 510^{mm}; gaz s'échappant par en haut et par en bas;

$11^h 27^m$; 495^{mm}; pouls, 66;

$11^h 31^m$; 455^{mm}; pouls, 64; sensation nauséeuse; gaz s'échappent, et cependant le ventre reste un peu gonflé;

$11^h 33^m$; 435^{mm}; pouls, 70; l'acte de siffler, que j'exécutais très-bien à la pression normale, qui était devenu assez difficile dès 520^{mm}, est complétement impossible;

$11^h 35^m$; 425^{mm}; pouls, 72; un peu de trouble de la vue, qui est moins nette;

$11^h 37^m$; 412^{mm}; pouls, 76; je suis assez mal à mon aise, avec l'œil un peu trouble.

Je commence alors à inspirer d'une manière continue dans le sac plein d'air suroxygéné que j'ai à côté de moi; l'expiration se fait au dehors. Quelques éblouissements surviennent, puis tout accident disparaît, et je me trouve, jusqu'à la fin de l'expérience, dans un état de bien-être parfait.

Le pouls, qui était tombé instantanément à 63, s'abaisse encore, quoique la décompression aille en augmentant.

$11^h 41^m$; pression, 408^{mm}; 60 pulsations.

$11^h 46^m$; 382^{mm}; pouls, 63;

11h 47m; 380mm; des gaz s'échappent par la bouche et l'anus; bien-être parfait;

11h 48m; 369mm; 58 pulsations; encore gaz;

11h 51m; 355mm; 59 pulsations;

11h 52m; 350mm; encore gaz;

11h 55m; 338mm; je fais quelques efforts pour ouvrir et fermer un flacon; le pouls monte à 63; la pression commence à remonter;

11h 59m; 400mm; 60 pulsations;

Midi; 440mm; impossible de siffler;

Midi 2m; 490mm; 60 pulsations; impossible de siffler; je cesse de respirer l'air suroxygéné;

Midi 3m; 520mm; impossible de siffler; 56 pulsations;

Midi 5m; 540mm; je commence à pouvoir siffler;

Midi 7m; 570mm; je siffle très-bien; 59 pulsations;

Midi 10m; revenu à la pression normale; 52 pulsations.

Cette expérience montre de la manière la plus nette que les inspirations continues d'oxygène, après avoir fait cesser les symptômes fâcheux, les empêchent de reparaître, quoique la pression barométrique continue à diminuer. Il n'est rien de plus probant. La dépression atteinte a été de 338 milli mètres, correspondante à la hauteur de 6500m environ, c'est-à-dire un peu plus que celle du Chimborazo.

La figure 58 exprime les phases diverses par lesquelles ont passé les battements du pouls avant et pendant les inspirations d'oxygène, dont le début est marqué en O.

Entre autres phénomènes qui ont persisté nonobstant l'inspiration d'oxygène, parce qu'ils dépendent exclusivement de la diminution de densité de l'air, je citerai les évacuations gazeuses et l'impossibilité de siffler, qui avait été notée déjà dans l'expérience précédente, et dont ne parlent ni les aéronautes ni les ascensionnistes; elle a été observée au-dessous de 500 millimètres.

L'expérience suivante, conduite de la même manière, est encore plus frappante à cause de l'énorme dépression à laquelle je me suis impunément soumis :

Expérience CCLVII. — 30 mars. — J'entre à 10h 15m dans l'appareil pression barométrique 759mm. J'ai avec moi un moineau, dont la température rectale est 41°,9, un rat et une bougie.

10h 22m; on ferme la porte; j'ai 60 pulsations;

10ʰ 29ᵐ; pression 710ᵐᵐ; 63 pulsations;

10ʰ 34ᵐ; 665ᵐᵐ; pouls, 64;

10ʰ 40ᵐ; 640ᵐᵐ; pouls, 65; je vois apparaître des bulles de gaz dans l'eau que j'ai à côté de moi dans un verre;

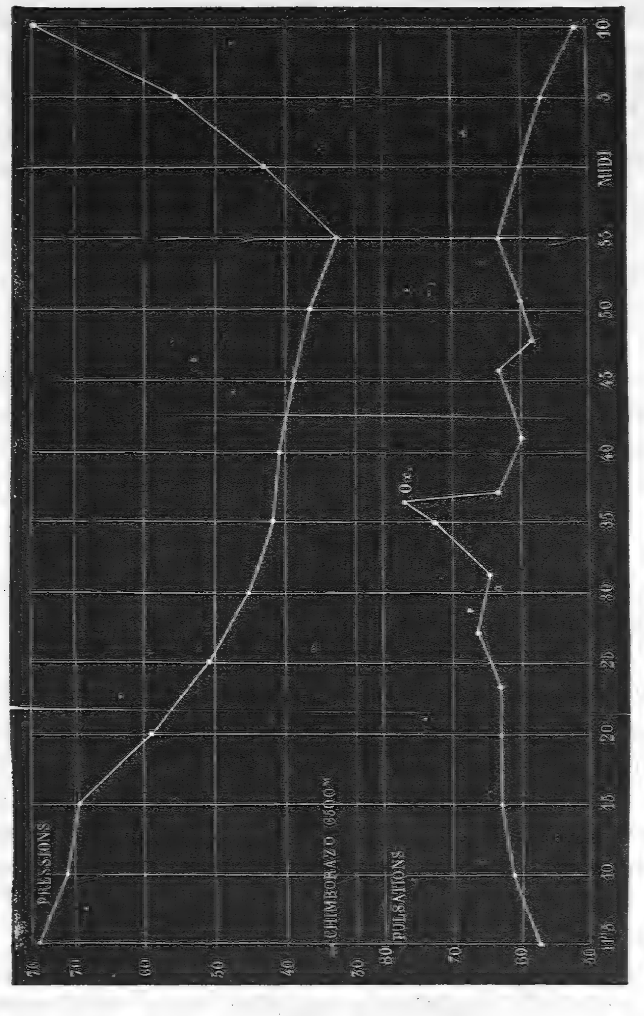


Fig. 58. — Modifications dans les battements du pouls, pendant la décompression, par la respiration continue d'oxygène. (Expér. CCLVI.)

10ʰ 43ᵐ; 605ᵐᵐ;

10ʰ 46ᵐ; 580ᵐᵐ; pouls, 66;

555ᵐᵐ; je siffle assez facilement; la flamme de la bougie bleuit un peu, la mèche s'allonge; elle est à peu près la moitié de la longueur de la flamme;

510^{mm}; impossible de siffler dans les notes hautes;

10^h 53^m; 480^{mm}; 70 pulsations; un peu de malaise;

10^h 53^m; 455^{mm}; 78 pulsations; sentiment de congestion à la tête; gaz s'échappant par en haut et par en bas;

10^h 58^m; 430^{mm}; pouls, 80; l'oiseau vomit, paraît assez malade, mais reste perché; le rat semble fort tranquille;

11^h; 410^{mm}; pouls, 86; je place devant ma bouche le tube du sac à oxygène, que la dépression a gonflé, et je respire ainsi un mélange très-suroxygéné; j'ai quelques éblouissements;

11^h 2^m; 400^{mm}; le pouls est tombé à 64; l'oiseau vomit de nouveau; le rat paraît fort anxieux;

11^h 5^m; 378^{mm}; 66 pulsations; impossibilité de siffler;

11^h 9^m; 360^{mm}; 72 pulsations; un peu de malaise, bien que j'aie respiré l'oxygène d'une manière continue, mais à distance, il est vrai. Je prends alors le tube de dégagement dans la bouche, sans fermer les narines, et le garde ainsi jusqu'à la fin de l'expérience. Le malaise disparaît aussitôt;

11^h 11^m; 348^{mm}; 66 pulsations; le moineau a 126 respirations à la minute;

11^h 14^m; 323^{mm}; 64 pulsations; le moineau, qui vomit très-fort, reste cependant perché;

11^h 17^m; 310^{mm}; j'ai un peu de malaise, avec pouls à 75;

11^h 19^m; 300^{mm}; le moineau est fort malade;

11^h 22^m; 295^{mm}; 64 pulsations; mon malaise a complétement disparu;

11^h 24^m; 288^{mm};

11^h 27^m; 280^{mm}; pulsations, 66; la flamme de la bougie est très-bleue; la mèche a environ 3/5 de la longueur de la flamme;

11^h 33^m; 258^{mm}; 70 pulsations; l'oiseau vomit et semble extrêmement malade, mais il reste toujours perché;

11^h 34^m; 255^{mm};

11^h 36^m; 248^{mm}; 64 pulsations; je laisse augmenter la pression;

11^h 38^m; 290^{mm}; pouls, 63;

11^h 40^m; 340^{mm}; la température rectale du moineau n'est plus que de 36°,4;

11^h 43^m; 390^{mm}; pouls, 54; je cesse de respirer l'oxygène;

11^h 44^m; 420^{mm}; impossible de siffler; l'oiseau est toujours bien malade, accroupi sur son perchoir;

11^h 46^m; 480^{mm}; impossible de siffler;

11^h 47^m; 550^{mm}; id.; 66 pulsations;

11^h 48^m; 580^{mm}; je puis siffler les notes basses, mais non les hautes;

11^h 49^m; 630^{mm}; je siffle très-bien;

11^h 51^m; revenu à la pression normale; j'ai seulement 52 pulsations. La température rectale du moineau est 36°,1; celle du rat 34°; la mienne, sous la langue, 36°,5.

A 3^h 30^m, le moineau n'a encore que 38°,7 dans le rectum.

Voici donc une expérience dans laquelle je suis arrivé en

une heure un quart à une pression minima de 248 millimètres, c'est-à-dire à moins d'un tiers de la pression normale, pendant laquelle je suis resté 45 minutes au-dessous de 400 millimètres, sans avoir éprouvé de malaise à partir

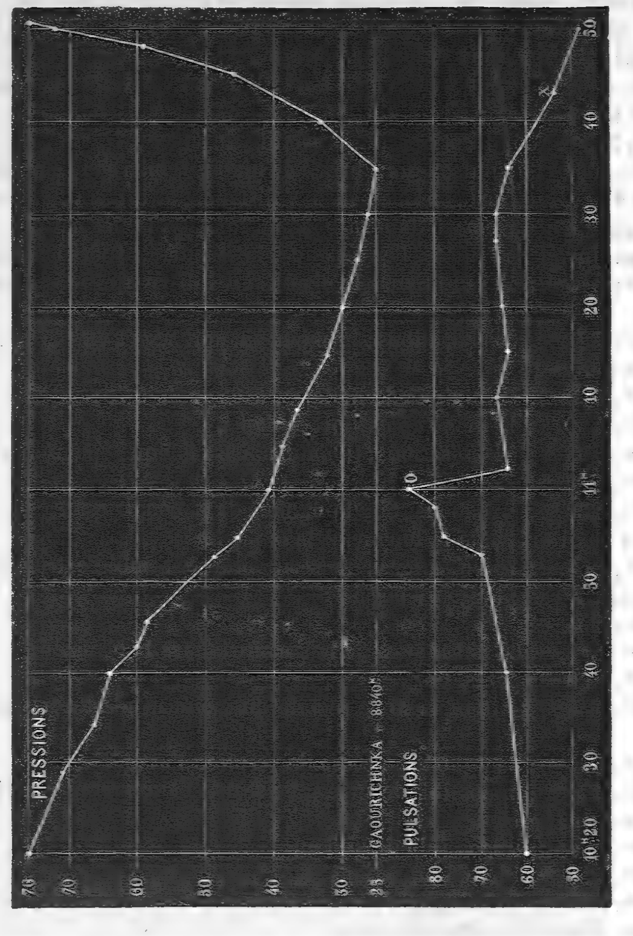


Fig. 59. — Modifications dans les battements du pouls, pendant la décompression, par la respiration continue d'oxygène. (Expér. CCLVII.)

du moment où j'ai commencé à respirer régulièrement l'air suroxygéné. Mon pouls, comme le montre le tracé inférieur de la figure 59, est resté dès lors à son chiffre normal ; il s'est même abaissé vers la fin, soit à cause du long repos dans la station assise, soit sous l'influence de la respiration d'un air

suroxygéné. A côté de moi, un moineau et un rat se trouvaient fort malades, et leur température s'abaissait de plusieurs degrés. Quant à moi, bien loin de courir un danger, je ne ressentais aucun des inconvénients légers de la décompression, ni l'état nauséeux, ni le mal de tête, ni la congestion à la tête, et je n'en éprouvai pas davantage après être sorti de l'appareil. Il me semblait même que j'eusse pu aller beaucoup plus bas encore, sans nul encombre, et j'y étais parfaitement disposé, si mes pompes à vapeur, fatiguées du travail, n'eussent refusé d'épuiser davantage l'air des cylindres. Peut-être dois-je en accuser la complicité des personnes présentes à l'expérience, qui venaient fréquemment me regarder à travers les hublots et, malgré l'aspect tout à fait naturel de ma physionomie, semblaient fort effrayées de me voir exposé à cette énorme diminution de pression. Elle correspondait, en effet, à plus de 8800 mètres, c'est-à-dire à une hauteur supérieure à celle que les voyageurs en montagne et les aéronautes, hormis MM. Coxwel et Glaisher, aient pu atteindre encore (voir p. 199). Je n'éprouvais aucun malaise à cette pression qui avait failli être si funeste aux deux intrépides Anglais, et à laquelle devaient périr peu de mois plus tard MM. Crocé-Spinelli et Sivel.

CHAPITRE IV

ACTION DE L'AIR COMPRIMÉ SUR LES ANIMAUX.

SOUS-CHAPITRE PREMIER

ACTION TOXIQUE DE L'OXYGÈNE A FORTE TENSION.

Les expériences rapportées au chapitre I, sous-chapitre II, nous ont amené à cette conclusion remarquable, que l'air comprimé, ou, pour parler plus exactement, que l'oxygène arrivé à un certain degré de tension constitue un agent redoutable, bientôt même mortel, pour la vie animale.

Cette révélation inattendue, mais qui se déduit de toutes nos séries d'expériences de manière à s'imposer à l'esprit le plus défiant, méritait une étude approfondie. Il fallait analyser les symptômes, à ses degrés divers, de cet empoisonnement d'une espèce inconnue; il fallait déterminer les doses auxquelles l'oxygène devient dangereux, et cela tout à la fois quant à sa tension dans le milieu respiratoire extérieur et quant à sa proportion dans le milieu respiratoire intérieur, dans le sang; il fallait enfin chercher à expliquer son mode d'action intime sur les divers éléments anatomiques.

Ce problème nouveau laissait bien loin derrière lui, comme intérêt scientifique, l'analyse des quelques modifications

dans les rhythmes respiratoire et circulatoire qu'ont jusqu'ici étudiés les auteurs qui se sont occupés de l'air comprimé. Je m'y attachai donc tout d'abord, avec toute l'attention dont j'étais capable. Ayant démontré successivement que l'air comprimé n'agit que par la tension de l'oxygène qu'il contient, et que cet oxygène peut arriver à tuer rapidement les animaux avec des phénomènes convulsifs, je dus, suivant la méthode habituelle des physiologistes, laisser momentanément de côté les effets difficiles à apprécier des faibles doses de l'oxygène, pour étudier d'abord les troubles violents qu'amènent les fortes doses. Je m'occupai donc en premier lieu des actions de l'oxygène sous une forte tension, ajoutant le plus souvent à la pression manométrique une richesse centésimale du milieu, en gaz comburant, fort supérieure à celle de l'air que nous respirons.

Je crois utile de reproduire ici un certain nombre d'expériences qui me permettront de donner tout d'abord une description des accidents consécutifs à ce que j'appellerai, ne fût-ce que par commodité de langage, l'*empoisonnement par l'oxygène*.

Déjà nous avons eu à remarquer (p. 605) les convulsions qui s'étaient emparées des moineaux soumis à cet agent redoutable. Les expériences qui suivent, faites presque toutes dans l'appareil à eau de Seltz, vont nous en fournir des exemples nouveaux :

EXPÉRIENCE CCLVIII. — 29 janvier. — Moineau franc mis, de $3^h\,50^m$ à $3^h\,58^m$, à 6 atmosphères, dont 5 d'oxygène. Ce mélange contient 81 p. 100 d'oxygène, et la tension de ce gaz est donc équivalente à $81 \times 6 = 486$, ce qui correspond à $\frac{486}{20,9} = 23,2$ atmosphères d'air.

A $4^h\,3^m$, violentes convulsions, la tête en bas; agitation rotatoire.

Je diminue la pression et l'amène à 3,5 atmosphères. Pendant la décompression, nouvelles convulsions.

Immédiatement après, 3e attaque; puis, attaques nouvelles, de plus en plus faibles, à $4^h\,6^m$, $4^h\,11^m$, $4^h\,14^m$.

Pendant les attaques, et dans leur intervalle, les respirations sont très-amples et très-précipitées; le bec est grand ouvert.

Les crises se rapprochent à des intervalles de 1 à 2 minutes, en devenant

de plus en plus faibles. Elles se calment vers 4^h 40^m ; l'oiseau reste couché sur le dos, les respirations deviennent de plus en plus rares, et cessent à 5^h, sans aucun autre mouvement.

A 5^h 10^m, la température rectale est de 24°.

Expérience CCLIX. — 2 février. — Moineau franc, mis à 6 atmosphères, dont 5 d'oxygène. La tension d'oxygène doit être d'environ 450.

Après 5^m, trépidations singulières, trémoussement de tout le corps ; reste ensuite immobile, le bec en bas.

Après 10^m, une attaque de grandes convulsions ; une autre à 12^m ; une 3e plus faible, à 17^m. L'oiseau est fort malade, respire de 50 à 70 fois par minute, le bec grand ouvert.

Ramené avec précaution à la pression normale : revient assez peu à lui ; température rectale de 34 à 35°. A, dans sa cage, de nouvelles attaques convulsives ; au bout d'un quart d'heure, se remet sur ses pattes ; mais, quand on le menace du doigt, recule en marchant sur tout le tarse, et tombe en arrière.

Après 2 ou 3 heures, paraît assez bien revenu, mais meurt dans la nuit.

Expérience CCLX. — 5 février. Moineau porté à 5 atmosphères, dont 4 d'oxygène. La tension de l'oxygène doit être d'environ 400. Après 15 minutes environ, arrivent les grandes convulsions ; j'en laisse 2 ou 3 attaques, puis je ramène à la pression normale.

La température rectale est de 32°.

L'oiseau a conservé évidemment toute son intelligence ; il mord violemment quand on lui présente le doigt, et est vigoureux des ailes et des pattes.

1 heure après, sa température est de 34°. Il a encore eu de petites attaques convulsives, et ne peut se tenir sur ses pattes.

3 ^{h} après, la température rectale est remontée à 39°,5. Survit.

Expérience CCLXI. — 26 février. — Moineau : température rectale 40°,5. Mis à 5 atmosphères, dont 4 d'oxygène (pression d'environ 400).

Au bout de 5 ^{m}, commencement d'agitation. Je ramène rapidement à la pression normale par le robinet capillaire.

La température est de 40°,3, mais elle remonte rapidement à 40°,5 par la respiration à l'air. L'oiseau est très-vigoureux et fort méchant. Suffusions crâniennes rouges, en moucheté abondant.

L'oiseau marche, court, grimpe dans sa cage, mais il ne vole pas. Si on le jette en l'air, il a les plus grandes peines à se soutenir, et retombe bientôt ; il refuse alors de s'envoler de terre.

Survit ; le lendemain, vole très-bien ; les suffusions persistent plusieurs jours.

Expérience CCLXII. — 2 mars. — Moineau à 5 atmosphères, dont 4 d'oxygène.

Après 5 ou 7m, les convulsions commencent; à la première apparition, j'ouvre le petit robinet. La température rectale monte à 41°, mais avec une très-grande lenteur à partir de 38°.

Petites suffusions sanguines.

Expérience CCLXIII. — 23 mai. — A 4h, moineau porté à 5 atmosphères, dont 4 d'oxygène. Pression d'à peu près 400.

Après 15 minutes, petites convulsions ; à 20m, grandes convulsions, deux ou trois attaques. A 30m, retiré.

Température rectale 33°.

A 5° 45m, temp. rectale 35° ; encore tremblotant, tout malade.

A 7h, mort; contractions musculaires singulièrement lentes.

Expérience CCLXIV. — 12 février. — Moineau : appareil cylindrique.

A la pression normale, 135 respir. Poussé à 3 atmosphères d'air, 115 respir.

A 4h 20m, je fais passer dans l'appareil un courant d'oxygène, et je pousse la pression à 2 atmosphères suroxygénées.

A 4h 30m, ventilation nouvelle, et pression montée à 3 atmosphères.

A 4h 40m, id. ; pression à 4 atmosphères.

A 4h 55m, id., $5\frac{1}{4}$ atmosphères; il commence à apparaître de petites convulsions.

A 5h 6m, nouvelle ventilation poussée à 6 atmosphères. Les convulsions reviennent, par crises ;

Mort vers 6h 50m.

L'air contenait alors 73 p. 100 d'oxygène et 0,5 p. 100 d'acide carbonique :

La tension de l'oxygène $P \times O = 438$ correspond à 21 atm. d'air.

Sang très-rouge dans la jugulaire. Suffusions sanguines étendues sur tout le crâne.

Expérience CCLXV. — 29 mars. — Moineau mis dans petit appareil à eau de Seltz.

On commence, à 2h 50m, à fouler de l'oxygène, jusqu'à 8 atmosphères ; le robinet capillaire étant ouvert, la compression que l'on maintient se fait au milieu d'un courant d'air débitant plus d'un litre par minute.

A 3h 15m, arrivent les grandes convulsions ; je laisse deux crises se succéder, à trois minutes d'intervalle. Puis, décompression rapide. L'oiseau mord le doigt que je lui présente, et paraît intelligent.

Sa température rectale est de 32°. Il a, hors de l'appareil, une troisième crise, et meurt à 3h 22m. Le sang de la veine jugulaire est noir, et ne contient pas de gaz libres.

Expérience CCLXVI. — 9 juillet. — Moineau poussé à 7 atmosphères d'air suroxygéné.

Après 10m, est pris de convulsions toniques. Retiré après 15m ; les convulsions continuent, ou plutôt l'oiseau est en opisthotonos constant. De

temps à autre, la raideur augmente; l'oiseau crie, écarte les ailes et s'en enveloppe; les plumes de la queue s'étalent. Reste sensible et paraît intelligent. Les crises de raideur sont les unes spontanées, les autres nettement provocables par les excitations.

Il meurt 20 minutes après.

Expérience CCLXVII. — 18 juillet. — Moineau poussé à 5 atmosphères d'air suroxygéné.

Après 5m, vomit, et paraît fort mal en point. Mais les convulsions ne surviennent qu'après 20m environ, et elles sont violentes.

Retiré 5m après, il continue à avoir des convulsions et des raideurs avec opisthotonos. Mord le doigt qu'on approche. Sa température rectale est de 37°.

Deux heures après, est parfaitement remis; sa température est remontée à 41°.

Expérience CCLXVIII. — 24 mai 1874. Expérience faite devant une Commission de l'Académie des sciences.

Moineau poussé à 6 atmosphères suroxygénées. Il est 4h.

Après 15m environ, les petites convulsions surviennent, bientôt suivies de grandes crises.

On retire l'oiseau; il a de fortes ecchymoses au crâne. Sa température rectale n'est que de 30°.

Reste fort malade, et meurt dans la nuit.

Les faits qui viennent d'être énumérés nous permettent dès maintenant de tracer une description des accidents violents dus à l'air comprimé, à la trop forte tension de l'oxygène, et de préparer l'analyse physiologique de cet empoisonnement.

La première question que nous devions nous poser est celle-ci : avec quelle tension d'oxygène surviennent les phénomènes convulsifs? Rassemblons en un tableau (tableau XIV) les expériences du chapitre Ier et celles qui précèdent.

Il ressort de l'examen de ce tableau que les convulsions commencent à apparaître avec une tension d'oxygène exprimée par le chiffre 300, et qui, si l'on employait l'air pur, correspondrait à 15 atmosphères environ.

Les effets fâcheux se faisaient sentir beaucoup plus tôt, comme le montre le tracé A de la figure 22 (p. 608), qui exprime la proportion d'oxygène qui reste dans l'air comprimé où sont morts des oiseaux, lorsqu'on a pris soin d'éli-

TABLEAU XIV.

1 NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	2 PRESSION BAROMÉTRIQUE	3 TENSION DE L'OXYGÈNE (CHIFFRES RONDS)	4 VALEUR EN ATMOSPHÈRES D'AIR	5 TEMPÉRATURE RECTALE	6 SYMPTOMES ET OBSERVATIONS
	atm.		atm.		
CXXXIX	1,75	150	7	»	Pas de convulsions.
CXXXVIII	3	260	13	»	Id.
CXLI	4	300	15	»	Convulsions.
CXX	20	Env. 420	20	»	Convulsions; l'appareil perd.
CCLX	5	id.	Env. 21	32°	Convulsions; retiré; survit.
CCLXI	5	id.	id.	40°,2	Retiré à la première conv.; survit.
CCLXII	5	id.	id.	38°	Id.
CCLXVII	5	id.	id.	37°	Id.
CCLXIII	5	id.	id.	33°	Conv.; retiré après 30 min.; meurt.
CXXXVII	5	id.	id.	18°	Conv. violentes; meurt en 25 min.
CXLII	8,5	430	21,5	»	Id.; meurt en 20 min.
CCLXIV	6	440	22	»	Id.
CXLV	5,5	460	23	27°	Id.; meurt en 20 min.
CCLXVIII	6	»	»	30°	Id.; meurt dans la nuit.
CCLVIII	6	480	24	»	Id.; meurt.
CCLIX	6	id. (?)	id. (?)	35°	Id.; retiré; meurt dans la nuit.
CCLXV	8	»	»	32°	Id.; retiré; meurt aussitôt.

miner l'acide carbonique formé. Ils sont très-nets à partir de 6 et surtout de 12 atmosphères.

Mais les convulsions ne se manifestent sûrement qu'entre 15 et 20 atmosphères. L'expérience CXX (p. 595), dans laquelle un linot a été porté à 20 atmosphères d'air, en signale l'apparition; seulement elles ont été notablement plus faibles que celles obtenues avec l'air suroxygéné. De plus, dans l'expérience CXXXIII, où la pression a été de 17 atmosphères, il n'y a pas eu de convulsions. Cette apparente contradiction s'explique par l'influence simultanée de l'acide carbonique produit, qui, s'emmagasinant dans l'organisme, y joue, comme nous le verrons dans un chapitre spécial, un rôle anesthésique très-prononcé. Or, nous allons montrer, dans un instant, que les anesthésiques arrêtent ou empêchent les convulsions dues à l'oxygène.

Donnons maintenant une description sommaire de ces convulsions; nous aurons à y revenir, du reste, lorsque nous les aurons étudiées chez les chiens.

Ces convulsions surviennent au bout d'un temps variable, généralement de cinq à dix minutes : l'oiseau secoue la tête et les pattes comme s'il marchait sur des charbons ardents. Ce sont des trépidations singulières, des trémoussements de tout le corps. Bientôt, dans les cas plus graves, il entr'ouvre les ailes, les agite vivement, et, tombant sur le dos, il tourne rapidement dans le récipient, battant avec violence l'air de ses ailes, les pattes contractées sous le ventre; ces phénomènes durent quelques minutes, puis se calment, pour reparaître par crises de plus en plus fréquentes et de moins en moins fortes jusqu'à la mort. Pendant les attaques, et dans les intervalles, les respirations sont très-amples et très-précipitées : le bec est très-grand ouvert. Aux très-hautes pressions, la mort survient dès la première crise.

Ces accidents remarquables continuent à se manifester après que l'oiseau, soustrait à l'influence de l'oxygène, a été ramené à l'air libre sous la pression normale; ils peuvent même alors se terminer par la mort.

Ces crises sont souvent très-nettement provocables, à la façon de celles de la strychnine (voir expér. CCLXVI) ; leur apparence générale rappelle à la fois les tremblotements irréguliers de l'empoisonnement par l'acide phénique[1], et les convulsions toniques et cloniques des attaques convulsives strychniques.

Ni la sensibilité ni l'intelligence ne paraissent atteintes ; l'oiseau, retiré du récipient, suit des yeux et s'efforce de mordre le doigt qui le menace; il ferme les paupières lorsqu'on approche quelque objet de son œil.

La locomotion générale est évidemment fort troublée, en dehors, bien entendu, des crises convulsives : l'oiseau a des allures ataxiques ; à peine peut-il, dans certains cas, se tenir sur ses pattes; dans d'autres, il peut bien marcher, mais non voler.

Enfin, et c'est là, après la constatation même de ces accidents, le point le plus important de cette étude, la tempéra-

[1] *De l'action toxique de l'acide phénique*, par MM. Paul Bert et Jolyet. *Mémoires de la Soc. de biologie*, année 1870, p. 65-88.

ture intérieure s'abaisse, dans tous les cas, rapidement et considérablement. On la voit tomber de 10 et 15 degrés; je signale particulièrement l'expérience CCLV, dans laquelle la température étant tombée en moins d'une demi-heure à 32°, elle s'est relevée assez vite à près de 40°, et l'animal a survécu.

Je reviendrai avec insistance sur ce fait remarquable, sur lequel je me contente d'appeler actuellement l'attention ; il montre d'une manière bien nette que les accidents de l'oxygène ne sont pas dus à une activité exagérée imprimée aux combustions intra-organiques.

La première idée qui devait se présenter à l'esprit, et j'avoue très-volontiers qu'elle me vint tout d'abord, c'est que, sous l'influence de cette sursaturation d'oxygène, les tissus animaux se brûlaient à l'excès, qu'il en résultait une élévation de la température propre, et que les convulsions qui apparaissaient pouvaient être comparées à celles qui précèdent la mort des animaux surchauffés dans une étuve. Or, nous pouvons, dès maintenant, affirmer qu'il n'en est rien, quitte à analyser plus tard, et tout à fait à fond, cet important phénomène.

Je dirai enfin quelques mots d'un accident constant chez les oiseaux dans les empoisonnements par l'oxygène, accident que j'ai désigné par l'expression de suffusions sanguines du crâne. Ce sont des hémorrhagies qui remplissent le diploé crânien ; dans les cas les plus faibles, elles ne consistent qu'en un piqueté très-fin ; ce piqueté est remplacé par des taches larges qui deviennent confluentes dans les cas graves, et le tissu spongieux de l'os se remplit de sang. Elles commencent toujours par l'occipital, mais peuvent envahir le crâne tout entier. On les voit survenir avant les convulsions, et lorsque l'oiseau ne périt pas, elles ne se résorbent qu'au bout de quelques semaines. Bien qu'elles existent toujours quand les accidents dus à l'oxygène prennent une certaine gravité, elles ne sont pas spécialement caractéristiques de cet empoisonnement. Depuis que mon attention a été appelée sur leur existence, je les ai retrouvées assez souvent

dans l'asphyxie et dans la mort par décompression. On les trouvera notées, en effet, dans quelques-unes des expériences rapportées au chapitre Ier; lorsqu'il n'en est pas question, cela signifie simplement qu'on ne les a pas recherchées. Je dois ajouter que jamais je ne les ai vues aussi étendues ni aussi fortes que dans l'empoisonnement par l'oxygène. Leur mécanisme m'échappe complétement; elles apparaissent en dehors de tout phénomène convulsif, et les autopsies ne m'ont montré d'apoplexies dans aucune autre partie du corps.

Pénétrons maintenant un peu plus profondément dans l'analyse des phénomènes que nous venons de décrire. Sur quel élément anatomique agit l'oxygène en excès? Quelle est la cause des convulsions? Le cœur est-il directement attaqué, comme il l'est par un si grand nombre de poisons? Les faits qui viennent d'être rapportés seraient insuffisants pour nous permettre de répondre complétement à ces diverses questions.

Il a fallu mettre en œuvre le réactif physiologique par excellence, la grenouille :

Expérience CCLXIX. — 27 février. — Grenouille mise à 2h à 7 atmosphères, dont 6 d'oxygène. La tension de l'oxygène correspond à 505. Le soir, à 7h, rien de bien particulier; semble un peu anxieuse.

Le 28, à 9h du matin, morte. Plus d'actions réflexes d'aucune façon; les nerfs moteurs et les muscles sont excitables. Le cœur, d'un beau rouge carmin, bat lentement à l'air. Gaz libres dans le sang.

L'air mortel ne contient pas trace d'acide carbonique.

Expérience CCLXX. — 4 mars. — Grenouille mise à 4h dans 5 atmosphères, dont 4 d'oxygène; la pression de ce gaz doit être d'environ 300.

A 10h du soir, gonflée.

Le 5 à 2h, paraît morte. Le cœur ne bat plus spontanément, mais est excitable; les nerfs moteurs et les muscles sont excitables. En coupant au dos la moelle épinière en travers, on a des mouvements dans les membres postérieurs.

Expérience CCLXXI. — 29 février. — Mis à 6h grenouille dans 4 atmosphères, dont 3 d'oxygène.

La tension de ce gaz est 254.

Le lendemain 1er mars, à 3h, a des raideurs, se gonfle, semble avoir des mouvements convulsifs quand on frappe sur la table. A 7h du soir, est beaucoup plus affaissée.

2 mars, à 1h, morte, raide. Le cœur bat, les nerfs et les membres sont excitables ; on n'a aucun mouvement en coupant la moelle en travers.

L'air mortel ne contient pas trace d'acide carbonique.

Expérience CCLXXII. — 18 avril. — Mis à 6h du soir une grenouille à 4 1/2 atmosphères suroxygénées. La tension de l'oxygène est représentée par 335. Tempér., 15°.

Le lendemain, rien de particulier dans l'aspect de l'animal.

Le 20, trouvée morte à 1h. Le cœur, très-rose, bat encore un peu. Les muscles sont parfaitement contractiles.

Expérience CCLXXIII. — 17 juin. — Grenouille mise à 4h 30m sous une pression de 5 atmosphères suroxygénées. Le cœur est à nu, Tempér. 20°.

Le 18, à 11h du matin, très-affaiblie, affaissée. Pas de mouvements respiratoires. Pulsations rares, irrégulières, des ventricules ; mais les oreillettes battent seules 40 fois par minute.

A 3h, décomprimée. Encore quelques faibles battements du cœur. Il n'y a plus d'actes réflexes, mais les nerfs moteurs et les muscles sont parfaitement excitables.

Sucre dans le foie, en assez grande quantité.

Il résulte de toutes ces expériences que l'oxygène ne tue point en agissant sur le cœur, sur les nerfs moteurs, ni sur les muscles. Mais les actes réflexes de la moelle épinière, après avoir été considérablement excités, sont supprimés.

Le fait que les convulsions proviennent de la moelle épinière, communiquant son excitation aux muscles par l'intermédiaire des nerfs moteurs, est surabondamment démontré par les expériences dans lesquelles le nerf moteur a été coupé. Exemple :

Expérience CCLXXIV. — 20 juin. — Grenouille; *nerf sciatique gauche coupé ;*

3h du soir ; mise à 3 atmosphères suroxygénées, contenant 60,5 p. 100 d'oxygène, soient $3 \times 60,5 = 181,5 = 9$ atmosphères d'air.

La respiration cesse un moment.

21 juin. — Respirations très-rares ; yeux très-saillants avec pupilles largement arrondies ; gonflée, un peu affaissée ; pas de convulsions.

22 juin ; 11h matin. — Plus de respiration ; affaissée ; yeux fermés par la paupière transparente. Convulsions cloniques commençant dans le bras droit, puis se généralisant, sauf dans la *patte gauche ;* alors raideurs générales ; puis affaissement.

Ces crises sont excitables à volonté, par le choc ; mais bientôt l'animal paraît insensible, comme mort.

Décomprimée brusquement; aucun effet. A l'air, ne respire pas; cœur, mis à nu, bat 50 fois à la minute; le sang, qui y était rose d'abord, y noircit progressivement.

Après 1/4^h environ, l'excitation ramène de nouvelles crises convulsives, semblables aux précédentes. En excitant la patte droite, on a des mouvements du bras droit, mais non du gauche.

Contractions fibrillaires fréquentes, dans les muscles de la poitrine, surtout, et aussi dans les membres, sauf à la patte gauche.

Pendant les convulsions, le cœur ne paraît pas modifié.

Meurt vers 2^h.

Ainsi, la section d'un nerf moteur a empêché tout mouvement convulsif, fibrillaire ou généralisé, de se produire dans les muscles correspondants.

Puisque l'oxygène atteint la moelle épinière, à la façon de la strychnine, de l'acide phénique, etc., les convulsions devront être empêchées par le chloroforme qui, comme je l'ai autrefois démontré[1], agit spécialement sur la moelle épinière. C'est, en effet, ce qui est arrivé dans l'expérience suivante :

Expérience CCLXXV. — 26 février. — Moineau éthérisé, mis dans le récipient; se réveille pendant la pression. Je mets dans le vase où barbotte dans la potasse l'oxygène attiré par la pompe quelques gouttes d'éther, et je pousse à 5 atmosphères, dont 4 d'oxygène.

L'oiseau se rendort, après avoir présenté quelques trémoussements des pattes; il meurt lentement, en 25^m, *sans aucune convulsion.*

Vastes suffusions crâniennes.

L'air mortel contient CO^2 2; O 76. La pression primitive de l'O était donc environ $78 \times 5 = 390$, correspondant à 19 atmosphères d'air.

Cette expérience montre, non-seulement que l'anesthésie empêche les convulsions de l'oxygène, comme celles des autres poisons de la moelle épinière, mais encore qu'elle n'empêche pas la mort d'arriver, tout en arrivant avec calme. L'expérience suivante, dans laquelle l'animal a été retiré après l'action de l'oxygène, et chez qui les convulsions ont apparu au fur et à mesure que la sensibilité revenait, est encore plus probante :

Expérience CCLXXVI. — 24 février. — Rat chloroformé, a été tout près de mourir pendant l'anesthésie.

[1] *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* t. LXIV, p. 622, 1867.

Commence à être sensible après 1/2h environ. — Temp. rectale 35°.

Mis à 5 atm., et après 10m à 6 1/2 d'oxygène.

Au bout de 20m de compression paraît fort malade; avec quelques petits tressaillements; les convulsions ne venant pas, il est retiré.

Temp. rectale 34°.

Remis dans la cage, reste étendu; bientôt il est pris de convulsions; raideurs de la queue, etc. — Elles apparaissent spontanément ou sitôt qu'on touche l'animal.

1h après, même état; la temp. est de 32°.

2 1/2h après, très-faibles convulsions; tempér., 28°. Évidemment mourant.

25 février. — Trouvé mort et froid.

Je n'insiste pas sur ce point, parce que les expériences faites sur les chiens nous fourniront des faits analogues.

Avant d'arriver à celles-ci, je crois devoir en rapporter encore une qui a été faite sur les moineaux, et dans laquelle se montre le rôle important que joue le sang dans l'empoisonnement par l'oxygène :

Expérience CCLXXVII. — 17 juillet. — Deux moineaux sont, de 5h 2m à 5h 7m, portés à 8 atm. suroxygénées, où la tension de l'oxygène équivaut à 424, soit à 20 atmosphères d'air.

L'un, A, est sain; l'autre, B, qui pèse 20gr, a été saigné, à 4h, de 0cc,7 de sang à la jugulaire; il est encore très-abattu; sa temp. rectale n'est que de 32°, tandis que celle de A est de 42°.

Dès 5h 10m ou 12m, A a de petites secousses convulsives, et vers 5h 20m a de franches convulsions, qui durent jusqu'à 5h 33m où il meurt. B n'est pris, et faiblement, que vers 5h 25m; pas de secousses générales, mais grands efforts de respiration, raideurs, etc., qui deviennent de vraies convulsions, des pattes, sinon des ailes, vers 5h 35m; il en a peu, puis reste sur le dos, comme mort.

Décomprimé à 5h 45m.

A, tempér. rect., 31°.

B, — 28°.

Énormes suffusions crâniennes aux deux oiseaux.

B respire encore; sa température rectale baisse et est de 25° à 6h; il meurt alors. Les muscles quand on les pinçait se contractaient lentement et fortement, comme avec des crampes.

Ainsi, chez l'animal saigné, les accidents se sont montrés beaucoup plus lentement que chez l'animal sain. Cela tient tout à la fois à la dépression générale qu'il avait subie, et à la moindre quantité de sang qui, ne se chargeant ‹ d'une

plus faible quantité d'oxygène, n'a pu porter cet agent redoutable qu'en proportion moindre à la moelle épinière.

Il serait prématuré d'insister en ce moment sur le rôle du sang dans l'empoisonnement par l'oxygène. Cette question reviendra d'une manière bien plus utile, lorsque nous aurons étudié les expériences faites sur les chiens, dont je vais maintenant rendre compte avec détails.

J'ai eu pour but spécial, en mettant des chiens en expérience, de chercher avec quelle proportion d'oxygène contenu dans le sang survenaient les accidents convulsifs. Je pensais en même temps continuer, grâce à l'emploi des atmosphères suroxygénées comprimées, la recherche des rapports qui s'établissent chez l'animal vivant entre la tension de l'oxygène du milieu respiratoire et la richesse en oxygène du sang artériel, rapports étudiés au sous-chapitre III du chapitre Ier jusqu'à 10 atmosphères d'air seulement.

L'animal en expérience était disposé sur son cadre comme il est dit à la page 656. Pour arriver à lui faire respirer de l'oxygène comprimé, je dus recourir à un artifice, n'ayant pas à ma disposition la quantité d'oxygène nécessaire pour comprimer ce gaz à plusieurs atmosphères dans un récipient de 150 litres.

Je fixais dans la trachée du chien un tube métallique aussi large que possible, et le mettais en communication avec un sac de caoutchouc mesurant environ 30 litres. Le sac était placé à côté de l'animal, et l'air injecté par la pompe les comprimait tous deux à la fois. L'expérience ne durait jamais assez longtemps pour que le chien épuisât complétement l'oxygène. Mais, comme l'expiration se faisait dans le sac, il s'y emmagasinait de l'acide carbonique qui, par suite, s'accumulait également dans le sang. Il en résulte qu'il ne faut pas tenir compte de la proportion de ce gaz révélée par les analyses ; j'ai cru devoir cependant l'indiquer à titre de renseignement dans le narré des expériences. Dans un certain nombre de cas, j'ai, pour éviter cette accumulation, disposé sur le trajet du tube qui allait de la trachée au sac un flacon où barbottait l'air suroxygéné dans une solution de potasse ;

d'autres fois, la solution se trouvait dans le sac lui-même. Ces expériences, comparées à celles où aucune précaution semblable n'avait été prise, me permettent d'affirmer que, dans ces dernières, l'influence de l'acide carbonique a été tout à fait négligeable; ceci s'expliquera tout naturellement, lorsque nous traiterons, au chapitre VIII, de l'empoisonnement par l'acide carbonique.

Voici maintenant le récit d'un certain nombre d'expériences :

EXPÉRIENCE CCLXXVIII. — 16 novembre. — Chien noir, à poils ras, neuf, pesant environ 12 kil.

On l'attache sur le dos, et on lui met dans la trachée un tube de métal, au bout duquel est un tube de caoutchouc notablement plus étroit. Les respirations se font par séries d'extrême fréquence, séparées par quelques intervalles de calme.

Au bout d'une demi-heure environ, on prend la température rectale, qui est de 36° (sur un chien sain, le même thermomètre donne 38°,5).

On lui tire alors à la carotide gauche 35 cent. cubes de sang qui est porté immédiatement dans la pompe à extraire les gaz. . . . . A.

Le chien est ensuite placé dans l'appareil à compression; au tube de sa trachée est alors adapté, un sac de caoutchouc contenant de l'oxygène; puis on fixe l'animal comme il a été dit ci-dessus.

La pression est commencée à $3^h 56^m$.

A $4^h 21^m$, on est à 5 atmosphères; je tire 38^{cc} de sang, très-rouge, ne laissant pas dégager de gaz. . . . . B.

A $4^h 40^m$, à 7 atmosphères, tiré 31^{cc} de sang très-rouge, dans lequel le dégagement de gaz est au moins douteux. . . . . C.

On monte à 8 atmosphères, et à $4^h 45^m$ on décomprime brusquement en 3 minutes et demie.

L'animal est immédiatement extrait de l'appareil; il n'y a de gaz libres ni dans le sang artériel ni dans le sang veineux; les bruits du cœur sont purs, sans aucun gargouillement indiquant la présence de gaz. La température rectale est de 30°. Il y a eu issue de matières fécales, et la gueule est pleine d'écume mousseuse.

Les pattes sont fortement raidies; l'animal, détaché, est en opisthotonos très-prononcé; tout le corps est en convulsion tonique. Les matières fécales continuent à sortir. L'œil se ferme quand on touche la cornée, mais non la conjonctive; les pupilles, très-dilatées, ne se contractent pas à la lumière.

La pression cardiaque, dans la carotide, oscille entre 9 et 12 cent.

Les phénomènes vont en augmentant d'intensité. Vers 5 heures, les convulsions sont d'une violence extrême; au milieu des raideurs continuelles apparaissent des convulsions cloniques des membres, du cou, des mâ-

choires. Les yeux sont convulsés. Le pénis est tellement rétracté, que pour sonder l'animal il faut fendre le prépuce dans toute sa longueur : pas d'urine dans la vessie. L'animal écume énormément.

Vers 5h 30m, la température est de 29 degrés. Il survient des vomissements. Les convulsions prennent l'apparence de crises, sans véritable repos dans l'intervalle; cela ressemble beaucoup à des attaques strychniques successives, sauf la permanence presque complète des raideurs et de l'opisthotonos. On excite les convulsions cloniques, en touchant l'animal, en choquant la table, en introduisant le thermomètre au fond du rectum. Pendant les crises, la respiration s'arrête, mais le cœur continue à battre.

Graduellement apparaissent quelques intervalles d'un repos relatif. L'animal commence à grincer des dents avec une force extraordinaire, à croire qu'elle vont se briser. La température remonte; à 6 heures elle est de 31 degrés.

6h 15m : A certains moments, il n'y a plus de raideurs; la respiration se fait mieux; la queue remue.

6h 45m : L'animal reste toujours couché sur le flanc; les convulsions cloniques ressemblent à celles de l'acide phénique, en ce sens qu'elles imitent presque les mouvements de la marche; elles se succèdent par crises que sépare un intervalle de repos relatif. A chaque crise, opisthotonos violent, avec agitation des mâchoires, puis claquement de dents; de temps en temps, raideurs générales avec immobilité, mais moins fortes qu'au début. La pupille est toujours insensible à la lumière. La température est de 32 degrés. Le cœur bat vite et fort.

Le lendemain, à 11 heures du matin, l'animal, auquel on a laissé sa canule trachéenne, est couché comme la veille; il est en opisthotonos avec contraction permanente des membres; le sphincter anal est fermé; secousses faibles, mais presque continues. La salivation visqueuse a continué ainsi que le larmoiement; les pupilles sont dilatées; la cornée est sensible, mais non la conjonctive. Respiration assez calme; 80 pulsations faibles; température 27 degrés.

Je fais respirer du chloroforme jusqu'à insensibilité cornéale; les raideurs et les secousses disparaissent pour reparaître bientôt.

L'animal meurt dans la journée.

Voici maintenant le résultat des analyses :

A : Air ordinaire, pression normale; 100^{cc} de sang contiennent O $15^{cc},5$; CO^2 22,9 [1].

B : 5 atm. d'air suroxygéné : 100^{cc} de sang contiennent O 24,0; CO^2 63.

C : 7 atm. d'air suroxygéné : 100^{cc} de sang contiennent O 31,5; CO^2 54,6.

L'air du sac, après l'expérience, était, pour 100, composé de O 66; CO^2 5,4. La composition primitive était donc environ de 75 pour 100 d'oxygène.

[1] Ces nombres et ceux des expériences suivantes sont rapportés à 0° et 76 de pression.

La tension de l'oxygène en B était donc environ $70 \times 5 = 350$.

En C, elle était environ de $68 \times 7 = 476$.

On était monté jusqu'à $66 \times 8 = 528$, ce qui correspond à 26 atmosphère d'air environ.

Cette expérience est particulièrement remarquable ; voilà un animal qui, pour avoir été exposé pendant trois quarts d'heure à une tension d'oxygène correspondante à peu près à 26 atmosphères d'air, est mort après 24 heures environ de violentes convulsions.

Expérience CCLXXIX. — 20 novembre. — Chien assez jeune, pesant environ 8 kilos.

On met un tube dans la trachée.

Après un quart d'heure, la température rectale est 39°,4; il a 144 pulsations, 24 respirations à la minute : la pression du sang dans la carotide oscille entre 15 et 17^c de mercure.

A 3^h 38^m, on tire 38^{cc} de sang. . . . . A.

Mis dans l'appareil à 4^h 10^m, avec sac plein d'un mélange à 89,5 pour 100 d'oxygène.

A 4^h 30^m, on est à 5 atmosphères, et l'on s'y maintient.

A 4^h 38^m, on tire 43^{cc} de sang très-rouge; il ne se dégage pas de gaz. . . . . B.

Décompression en une minute et demie, à 4^h 40^m.

On retire aussitôt l'animal, on enlève le sac, et l'on constate qu'il a déjà vomi dans l'appareil. Il vomit à nouveau. Il présente des crises de raideurs, sans secousses cloniques. La température est de 36°,5 ; la pression cardiaque de 11 à 12^c ; les pulsations sont à 140, les respirations à 24.

Ces crises de raideurs convulsives durent environ 20 minutes.

A 6 heures, la température est de 35 degrés, la pression cardiaque de 12^c, les pulsations au nombre de 140. Le chien commence à pouvoir se soutenir sur ses pattes.

A 6^h 30^m, l'animal, dont la canule a été enlevée, reste couché avec des espèces de tremblotements musculaires, qui ressemblent à ceux de l'acide phénique. Son œil est sensible, et les pupilles se contractent et se dilatent comme par des trépidations qui semblent en rapport avec les tremblements des membres. Il y a quelques raideurs dans les pattes de devant, mais on peut les plier aisément.

Le lendemain, se porte très-bien.

Les analyses ont donné les résultats suivants :

A : Air, pression normale; 100^{cc} de sang contiennent : O. 17,0; CO^2 39,0.

B : A 5 atm. d'air suroxygéné ; 100^{cc} de sang contiennent : O. 24,8; CO^2 75,0.

Le gaz du sac, après l'expérience, contient 76,2 d'oxygène et 8,1 d'acide carbonique. La tension de l'oxygène en B était donc environ $77 \times 5 = 385$.

EXPÉRIENCE CCLXXX. — 25 novembre. — Chien de moyenne taille.

Tube dans la trachée; carotide gauche à nu.

Température rectale 38°,1 [1].

3h 12m : tiré 33cc de sang; l'animal respire tranquillement. . . . A.

Mis dans l'appareil à 3h 55m, avec sac à oxygène; entre le sac et le tube trachéal est placé un flacon, au fond duquel se trouvent des morceaux de potasse; je veux ainsi diminuer la proportion de l'acide carbonique qui s'emmagasine dans le sac.

4h 25m : on est à 7 atmosphères; à 4h 28m, tiré avec la plus grande difficulté 23cc de sang. . . . . B.

A 4h 38m, la pression est de 7 1/4 atmosphères; je décomprime brusquement.

Retiré à 4h 45m, l'animal est sensible à l'œil: sa température est de 36°; il présente quelques raideurs des membres postérieurs et du cou; la respiration paraît suspendue, le cœur bat très-faiblement.

Après 10m les raideurs augmentent, mais la respiration revient, et le cœur bat plus vite et plus fort. Bientôt après, l'animal redevient flasque, comme il était au sortir de l'appareil; sa respiration est faible; il meurt à 5h 50m, sans mouvement.

A 5h 20m, sa température était de 34°,5; à 5h 50m, elle est tombée à 33°,5.

A 5h 5m, je tire 33cc de sang carotidien. . . . . C.

A 5h 30m, tiré de même 33cc de sang. . . . . D.

L'autopsie montre le cœur plein de sang noir à droite, un peu rouge à gauche. Il y a dans la vessie quelques *gouttes d'urines extrêmement chargées de sucre*. Le foie contient beaucoup de sucre.

Le sang A (air, pression normale) contenait. . . .	O 14,4;	CO^2 41,0
— B (oxygène, 7 atm.).	O 24,1;	CO^2 68,5
— C (air, pression normale, 40m après la décompression).	O 15,8;	CO^2 16,5
— D (air, 70m après la décompression)	O 15,8;	CO^2 28,3

Le gaz du sac contenait avant l'expérience 79 pour 100 d'oxygène; la tension d'oxygène en B était donc probablement $74 \times 7 = 518$; elle s'est élevée au maximum à 550, à 4h 38m.

EXPÉRIENCE CCLXXXI. — 27 novembre. — Chien de berger, pesant 16 kilog.

Tube dans la trachée; température rectale 38°,5.

A 4h 50m, tiré 33cc de sang à la carotide gauche. . . . . A.

[1] Ces températures, indiquées par mon thermomètre dans cette expérience et dans plusieurs autres, sont certainement trop basses, absolument parlant. Mais il importe peu, la comparaison seule a de l'intérêt.

Mis à 5^h 8^m dans l'appareil à compression, avec le sac à oxygène, sans flacon à potasse.

A 5^h 12^m on est à 1 3/4 atmosphères; tiré 33^{cc} de sang, bien rouge. B.

A 5^h 48^m, 7 atmosphères; on s'y maintient, et à 5^h 50^m, tiré 39^{cc} de sang très-rouge, sans gaz libres.. . . . . C.

A 5^h 53^m, décomprimé en 2 minutes.

Retiré : température, 38°,5. Est en raideur, et toutes les 3 ou 4 minutes, convulsion tonique énorme, avec opisthotonos très-violent, suspension de la respiration, le cœur continuant à battre, quoique plus lentement. L'œil est insensible. L'excitabilité est beaucoup moins évidente que dans la strychnine. Il y a ainsi 4 ou 5 de ces affreuses convulsions pendant lesquelles il semble que l'animal va tomber de la table.

A 6^h 10^m, je fais respirer au chien un mélange de chloroforme et d'éther; il semble, au début, que les convulsions s'exagèrent. Mais au bout de 2 ou 3 minutes, elles disparaissent, et il ne reste plus que des trépidations des membres antérieurs, semblables à celles de l'acide phénique, qui disparaissent à leur tour, ainsi que les raideurs; l'animal devient souple et calme.

6^h 15^m, on cesse les inhalations. La sensibilité reparaît, puis quelques raideurs; mais il n'y a plus de grandes convulsions. Température, 39°.

6^h 22^m : on tire 33^{cc} de sang, moyennement rouge. . . . . D.

6^h 45^m : la tempér. est 38°,5.

7^h : on tire 33^{cc} de sang, très-noir.. . . . . E.

Le lendemain, l'animal est très-bien revenu.

Le sang A (air) contient, dans 100^{cc}.	O 16,9; CO^2 33,1
— B (oxyg., 1 3/4 atm.).	O 21,4; CO^2 36,6
— C (oxyg., 7 atm.)..	O 32,5; CO^2 73,8; Az 4,1
— D (air, 27^m après la décompression).	O 16,9; CO^2 21,0
— E (air, 67^m après la décompression).	O 17,0; CO^2 31,5

Le sac contenait après l'expérience un mélange de CO^2 10,7, et 70 pour 100.

Il en résulte que la pression de l'oxygène, lorsqu'on a tiré le sang B, devait être d'environ $1,75 \times 79 = 138$, et lorsqu'on a tiré le sang C, d'environ $7 \times 71 = 497$.

Expérience CCLXXXII. — 3 décembre. — Chien.

Tube dans la trachée; tempér. rectale, 38°; respirations extraordinairement rapides.

3^h 20^m : tiré sang à la carotide gauche 33^{cc}. . . . . A.

On ajoute à la canule trachéale le sac à oxygène; sur le passage de l'air, est placé un flacon au fond duquel se trouvent quelques morceaux de potasse.

3^h 30^m : tiré 33^{cc} de sang notablement plus rouge; les respirations sont devenues beaucoup plus lentes. . . . . B.

3h 45m : mis dans le grand appareil à compression.

4h : on est à 3 1/2 atmosphères : tiré 33cc de sang, très-rouge ; pas de gaz. . . . . C.

Il arrive une série d'accidents de détail ; à 4h 40m, je veux décomprimer brusquement ; mais le sac de caoutchouc se place devant l'ouverture, et la décompression ne finit qu'à 5h 45 m.

L'animal n'a ni convulsions ni trépidations ; sa température est de 36°.

Le sang A (air, pression normale) contient.	O 18,1 ; CO^2 24,9
— B (oxyg., pression normale).	O 20,9 ; CO^2 33,7
— C (oxyg., 3 1/2 atmosph.).	O 27,5 ; CO^2 56,5

L'air du sac contenait, avant l'expérience, 85 pour 100 d'oxygène ; ainsi, lorsqu'on a tiré le sang C, la tension devait être environ $80 \times 3,5 = 280$.

Expérience CCLXXXIII. — 10 décembre. — Chien vigoureux, pesant 12k,5.

A 3h 45m, mis tube dans la trachée ; la respiration devient très-haletante.

3h 55m : tiré 33cc de sang ; la temp. est de 38°,5. . . . . A.

4h 10m : mis à respirer sac de caoutchouc contenant oxygène.

4h 18m : tiré 33cc de sang, plus rouge.. . . . . B.

4h 35m : mis dans grand appareil avec le sac de caoutchouc, dans lequel on a introduit une lessive de potasse.

5h 5m : on est à 6 atmosphères ; tiré 38cc de sang.. . . . . C.

5h 35m : — 9 — 35cc — . . . . D.

Il paraît venir quelques bulles de gaz, très-fines.

5h 38m : décompression en 3 ou 4 minutes.

Quand on retire l'animal, il est mort. L'oreillette droite bat encore. Le sang veineux est assez rouge, et quand on le reçoit dans un verre, il s'en dégage de petites bulles de gaz qui viennent à la surface ou restent adhérentes aux parois du verre. Même phénomène pour le sang artériel, seulement les bulles sont beaucoup plus petites. Les muscles et les nerfs moteurs répondent à l'électricité.

Tandis que je tirais le sang D, ce sang venait très-difficilement, dans la seringue, par coups lents. Probablement l'animal se mourait juste à ce moment ; jusque-là, du reste, on l'avait vu respirer ; ensuite, non.

A 7h, pas de rigidité cadavérique.

Sang A (air, pression normale).	O 19,8 ; CO^2 20,9 ; Az 2,1
— B (oxyg. à 88 0/0, pression normale). .	O 20,9 ; CO^2 34,5 ; Az 1,5
— C (oxyg., 6 atm.).	O 26,3 ; CO^2 63,5 ; Az 3,9
— D (oxyg., 9 atm.).	O 30,7 ; CO^2 61,5 ; Az 5,5

L'air du sac, avant toute expérience, contenait 88 pour 100 d'oxygène. Ainsi, en tenant compte de l'altération respiratoire, la tension de l'oxygène, lorsqu'on a tiré le sang C, pouvait être exprimée par $80 \times 6 = 480$, et lorsqu'on a tiré le sang D, par $78 \times 9 = 702$.

EXPÉRIENCE CCLXXXIV. — 17 décembre. — Chien jeune, pesant 7k,5.

3h 30m; Température rectale, 39°.

Mis tube dans la trachée; respirations très-rapides.

3h 40m; tiré 33cc de sang carotidien, peu rouge. . . . . A.

3h 42m : mis à respirer dans sac à oxygène, avec lessive de potasse dans le sac.

3h 50m : température rectale, 38°,8 ; tiré 33cc de sang, bien rouge. B.

Mis dans l'appareil à compression à 4h 5m.

4h 50m : 7 atmosphères; on essaie en vain d'extraire du sang.

Poussé à 3/4 atmosphères, et décomprimé brusquement.

Retiré : tempér., 37°. Quelques raideurs et convulsions cloniques. Le cœur bat lentement, le sang est très-noir.

Meurt à 5h 10m, sans dernier soupir, en résolution complète.

Pas d'urine dans la vessie. Mais les reins, broyés avec du sulfate de soude et du charbon animal, donnent un précipité jaune avec de très-bonne liqueur de Bareswill. Le sang, traité de même, donne un semblable précipité énorme; la potasse brunit la liqueur à l'ébullition.

Le sang A (air, pression normale) contient. . . . . O 12,1 ; CO^2 29,6

— B (oxyg. à 91 0/0, pression normale). . . . O 14,1 ; CO^2 24,5

La tension de l'oxygène a dû être environ $7,75 \times 80 = 620$.

EXPÉRIENCE CCLXXXV. — 20 décembre. — Chien très-vigoureux, pesant 16k,5. Tempér. rectale, 38°,5.

3h 55m : tiré 33cc de sang assez noir. Respirations un peu lentes.. A.

4h : tube dans la trachée; respirations entièrement exagérées pendant 4 à 5 minutes; puis, période de calme, à laquelle succèdent de nouvelles respirations exagérées. A 4h 10m, je me prépare à tirer du sang, quand les respirations se calment et reviennent à un type normal.

4h 12m : Tiré 33cc de sang, moins noir.. . . . . B.

4h 30m : mis dans l'appareil à compression, avec sac de caoutchouc.

5h 5m : on est à 6 3/4 atmosphères ; tiré 40cc de sang, très-rouge, duquel sortent de très-fines bulles de gaz. . . . . C.

5h 12m : décomprimé brusquement.

Apporté sur la table, a une mousse abondante à la gueule ; il est en opisthotonos très-violent, que remplace de temps en temps un pleurosthotonos du côté droit ; par moments fortes convulsions cloniques, avec quelques intervalles de repos complet. Pendant les crises, la respiration s'arrête, et le cœur se laisse sentir très-difficilement. L'œil reste sensible.

A 5h 15m, la tempér. est 36°7, et le cœur ne donne que 20 pulsations.

A 5h 30m : 48 respirations, 112 pulsations.

A 5h 38m : un peu après une grande convulsion, je prends 33cc de sang, bien rouge. . . . . D.

A 5h 45m : température, 35°.

Je fais respirer par la trachée du chloroforme ; les respirations sont

très-actives; les pattes sont alors en raideur. Bientôt la respiration s'arrête à son tour, les yeux sont très-gonflés.

Je fais la respiration artificielle; le cœur reprend assez vigoureusement, et la respiration revient; puis, tout s'arrête, malgré la respiration artificielle, et l'animal meurt vers 6^h.

Le sérum sanguin, traité par le sulfate de soude et le charbon animal, donne par la liqueur bleue un très-abondant précipité jaune-rouge.

Sang A (air, pression normale, respiration normale)	O 15,1; CO^2 40,8
— B (air, pression normale, respiration trachéale)	O 20,3; CO^2 24,0
— C (oxyg., 6 3/4 atmosph.)	O 34,6; CO^2 92,5; Az 3,6
— D (pendant les convulsions)	O 19,0; CO^2 14,8

La composition de l'air du sac, avant l'expérience, étant 87 pour 100 d'oxygène, la tension lors de la saignée C devait être d'environ $6,75 \times 84 = 567$.

Expérience CCLXXXVI. — 22 janvier. — $0 = 16°$. — Chien de grande taille.

A 3^h 10^m, on lui met un tube dans la trachée; sa température rectale est 39°,5.

A 3^h 30^m, l'animal respirant lentement et avec ampleur, on prend 33^{cc} de sang carotidien. . . . . A.

A 3^h 40^m, il est placé dans le cylindre à compression, avec le sac de caoutchouc contenant de l'air à 88,6 0/0 d'oxygène.

A 4^h, on est arrivé à 4 atmosphères; je tire alors 33^{cc} de sang, très-rouge. . . . . B.

A 4^h 15^m, on est à 6 1/2 atm. Tiré 38^{cc} de sang, très-rouge, qui se coagule très-rapidement. . . . . C.

A 4^h 17^m, décomprimé en 2 minutes.

Retiré en pleines convulsions. Celles-ci consistent en attaques de raideurs des pattes et du corps en opisthotonos, assez fortes pour qu'on puisse *porter le chien par une patte, comme un morceau de bois* (voy. fig. 61, p. 800). On peut les exciter à volonté.

Tempér. rectale, 37°.

A 4^h 40^m, je tire 33^{cc} d'un sang médiocrement rouge; la température s'est abaissée à 36°.. . . . . D.

Les convulsions vont en diminuant; on ôte la canule. A 5^h 35^m, il n'y a plus de convulsions. Je tire un peu de sang carotidien, qui, bouilli avec du noir animal et du sulfate de soude, donne une très-forte réduction de la liqueur bleue. Rien par le sulfate de chaux ni l'acide azotique.

On met l'animal dans une cage disposée de manière à recueillir les urines.

Ces urines, le lendemain, décolorent la liqueur bleue en *donnant un abondant précipité jaune*.

Sang A (air, pression normale). . . . . O : 15,8 — CO^2 : 43,0
— B (oxyg. ; 4 atm.). . . . . O : 23,9 — CO^2 : 59,0
— C (oxyg.; 6 1/2 atm.). . . . . O : 28,7 — CO^2 : 69,4
— D (air, revenu à la pression normale, convulsions). . . . . O : 12,4 — CO^2 : 9,9

Le sac contenait, au début, de l'air à 88,6. p. 100 d'oxygène.

Au moment où l'on a tiré le sang B, la tension de l'oxygène devait donc équivaloir à peu près à 320, représentant 16 atmosphères. Pour le sang C, les nombres seraient 480 et 24 atmosphères.

Expérience CCLXXXVII. — 23 janvier, $\theta = 16°$. — Chien de grande taille.

Température rectale 39°. On lui met dans la trachée un tube, à 3h 15m. Son rhythme respiratoire ne change pas sensiblement; il était très-rapide.

A 3h 53m, sa température s'est abaissée à 38°,5. Je tire à la carotide 33cc de sang médiocrement rouge. . . . . A.

A 4h 2m, il est mis dans l'appareil avec le sac contenant de l'air suroxygéné.

A 4h 15m, on est arrivé à 2 atm. 3/4.

Je tire 45cc de sang très-rouge, ne contenant pas de gaz libres, ayant une tendance manifeste à la coagulation. Un accident m'empêche d'en faire l'analyse au point de vue des gaz.

A 4h 38m, on est arrivé à 7 1/4 atmosphères.

Je tire encore 45cc de sang, très-rouge, se coagulant rapidement, et dans lequel il n'apparait pas de gaz libres.. . . . . B.

A 4h 40m, décomprimé en 2 minutes.

Retiré en pleines convulsions. Température rectale, 37°.

Les convulsions, d'abord assez médiocres, avec intervalles de flaccidité, vont en augmentant de force. Dans les intervalles des convulsions toniques, l'animal agite les pattes comme s'il marchait. Les convulsions toniques sont tellement fortes qu'on peut soulever l'animal comme un morceau de bois, par une patte. Il a les pattes raides, le corps en pleurosthotonos droit, avec opisthotonos du cou, les yeux ouverts, saillants; les pupilles dilatées; il vomit.

A 5h il meurt. Le cœur continue à battre pendant quelques minutes.

A 5h 10m, on tire 33cc de sang, très-noir, avec une sonde, du cœur gauche, qui ne bat plus. . . . . C.

Il n'y a pas d'urine dans la vessie; congestion pulmonaire très-forte.

Sang A (air, pression normale). . . . . O : 17,2 ; CO^2 : 22,3
— B (oxyg., 7 atm., 1/4 de pression).. . . . O : 30,1 ; CO^2 : 72,3
— C (après la mort). . . . . O : 1,4 ; CO^2 : 29,0

L'air du sac de caoutchouc, analysé après que l'animal a été sorti de l'appareil, contenait : O 74 pour 100 ; CO^2 10 pour 100.

Au moment où l'on a pris le sang B, la tension de l'oxygène devait donc être à peu près 540, équivalant à 27 atmosphères.

Expérience CCLXXXVIII. — 24 janvier, $\theta = 17°$. — Chien bull-dog, vigoureux.

Temp. rect., 38°,5.

A 2^h 30^m, j'extrais 33^{cc} de sang carotidien; l'animal respire tranquillement, par les voies naturelles. . . . . A.

Je mets un tube dans la trachée; les respirations s'accélèrent beaucoup.

A 2^h 45^m, je tire 33^{cc} de sang. B.

A 3^h 25^m, l'animal est placé dans l'appareil, avec le sac à air suroxygéné.

A 3^h 45^m, la pression étant de 4 atmosphères, je tire 41^{cc} de sang. C.

A 4^h 3^m, la pression est montée à 6 3/4 atmosphères; extraction de 37^{cc} de sang.. . . . . D.

A 4^h 7^m, décompression en 3 minutes. La température rectale est de 37°; l'animal est en proie à de fortes convulsions.

A 4^h 33^m, la température rectale est abaissée à 36°.

A 4^h 35^m, je fais respirer du chloroforme; la première application suscite des convulsions, qui cessent bientôt, et l'animal devient insensible et en résolution. On cesse de chloroformer à 4^h 45^m. Jusqu'à 5^h 55^m, il n'y a plus de convulsions. Elles reparaissent alors.

L'animal survit.

Sang A (air, pression normale, respiration par les voies naturelles).	O : 16,0; CO^2 : 41,5
— B (air, pression normale, respiration trachéale).	O : 23,4; CO^2 : 15,2
— C (oxyg.; pression 4 atm.).	O : 28,5; CO^2 : 68,3
— D (oxyg.; pression 6 3/4)..	O : 30,7; CO^2 : 82,0

Le sac où avait respiré l'animal contenant, après l'expérience, 74,5 p. 100 d'oxygène et 8,6 d'acide carbonique, on peut évaluer à 300 la tension de l'oxygène au moment où a été tiré le sang C, soit 15 atmosphères d'air, et à 510 au moment où a été tiré le sang D, soient 25 à 26 atmosphères.

Expérience CCLXXXIX. — 28 janvier. — Chien de grande taille, à jeun depuis le 27 au matin.

A 2^h 35^m, je tire 33^{cc} de sang carotidien, médiocrement rouge.. . A.

J'en mêle quelques centimètres cubes avec de l'eau distillée, pour la recherche du sucre (α). La température rectale est 38°.

On n'ouvre pas la trachée, mais l'on adapte à l'animall a muselière représentée fig. 37, page 670, et à 3^h 15^m on le place dans l'appareil avec le sac à oxygène.

A 3^h 50^m, on est arrivé à 6 3/4 atmosphères. La décompression se fait en 5 minutes.

L'animal est en pleines convulsions : raideurs toniques, convulsions cloniques. Crises excitables à volonté.

A 4^h, je tire pendant les convulsions 23^{cc} de sang carotidien noir. B.

La température rectale n'est plus que de 36°,5.

A 4^h 25^m, tiré 33^{cc} de sang, médiocrement rouge; il vient d'y avoir une crise. . . . . C.

A 4^h 50^m, la température n'est plus que de 36°.

A 5^h 10^m, encore 33^{cc} de sang, plus rouge; les convulsions ont cessé depuis quelques minutes. . . . . D.

L'animal n'a plus de convulsions à 6^h; complétement détaché et mis à terre, marche comme une hyène, le train postérieur très-bas. On le met de côté pour avoir ses urines.

Il n'urine que le lendemain à 3^h; pas de sucre. A ce moment, sa température est montée à 39°,5.

Le sang α, bouilli avec du charbon animal, ne réduit pas la liqueur de Fehling.

Au contraire, un mélange des sangs B, C, D, bouilli semblablement, donne une réduction très-considérable. Une partie de la liqueur incolore obtenue par l'ébullition de ce sang additionné d'eau et mélangé à beaucoup de charbon, étant placée à l'étuve, avec de la levûre de bière, dans un tube renversé sur le mercure, fermente et donne un gaz qu'absorbe la potasse. Une autre partie, mise à froid avec de la liqueur bleue, la décolore et précipite.

Le sang A (air, pression normale), contenait. .	O : 16,0;	CO^2 : 44,5
— B (retour à l'air, convulsions).	O : 9,7;	CO^2 : 48,2
— C (après 25^m de retour à l'air).	O : 13,9;	CO^2 : 10,5
— D (après 1^h 10^m de retour à l'air). . . .	O : 18,5;	CO^2 : 19,0

L'air du sac, après l'expérience, contenait 61,5 d'oxygène et 12,9 d'acide carbonique. La tension de l'oxygène s'était élevée à peu près à 420, soit 21 atmosphères d'air.

Expérience CCXC. — 4 février. — Chien de grande taille, n'ayant pas mangé depuis le 3 au matin. Température rectale, 37°,5.

A 3^h 15^m, pris à la carotide 33^{cc} de sang, assez rouge. . . . . . . A.

Une petite quantité de ce sang est bouillie avec de l'eau, du sulfate de soude et du charbon.

L'animal, muni de la muselière et du sac d'oxygène, et mis dans l'appareil à 4^h.

A 4^h 40^m, je décomprime en quelques minutes; la pression était arrivée à 7 1/2 atmosphères.

L'animal est en convulsions, convulsions excitables; sa température est 36° seulement.

A 5^h 20^m, tiré 33^{cc} de sang, bien rouge. . . . . B.

L'animal venait d'avoir des convulsions, et, dans l'intervalle, il respirait très-rapidement.

A 5^h 40^m, tiré à nouveau 33^{cc} de sang. . . . . C.

Les convulsions sont alors finies; l'animal, détaché, ne peut marcher.

Il survit; l'urine qu'il rend dans la nuit ne contient pas de sucre; la salive, très-abondante, qui se trouvait dans la muselière, n'en contenait pas non plus. Au contraire, le sang B était certainement plus riche en sucre que le sang A.

Le sang A (avant l'expérience) contenait. . . . . O : 18,7 ; CO^2 : 44,0
— B (après, pendant les convulsions). . . . O : 23,2 ; CO^2 : 19,4
— C (les convulsions finies). . . . . O : 20,3 ; CO^2 : 22,0

L'air du sac, après l'expérience, contenait 57,6 d'oxygène, et 7,4 d'acide carbonique.

La tension de l'oxygène était donc montée environ à 440, soit 22 atmosphères.

Expérience CCXCI. — 5 février. — Chien terrier, de moyenne taille, à jeun depuis la veille.

Température rectale, 39°,5.

A 5h, mis dans l'appareil avec la muselière et le sac à oxygène.

A 5h 40m, est arrivé à 7 1/3 atmosphères.

De 5h 40m à 5h 45m, décomprimé.

Est en pleines convulsions, avec violents claquements de dents. Température, 38°.

Meurt à 6h.

L'air du sac, après l'expérience, contenait 77,2 d'oxygène pour 100 et 8 d'acide carbonique.

La tension de l'oxygène avait été d'environ 560, correspondant à 28 atmosphères d'air.

Expérience CCXCII. — 7 février. — Chien caniche vigoureux.

Température, 39°,8.

Pris du sang à la carotide pour la recherche du sucre. . . . . . . α.

A 4h, muselière et sac d'oxygène ; la compression commence.

A 4h 43m, la pression est de 7 1/4 atmosphères ; on décomprime rapidement. Retiré, a 2 ou 3 convulsions ; sa température est 38° ; il meurt pendant qu'on lui tire un peu de sang artériel, très-noir, qui est traité par le sulfate de soude. . . . . β.

α et β sont traités de la même manière, avec la même addition d'eau, et suivant la méthode de Cl. Bernard. Or, 5cc du liquide filtré fourni par α ne réduisent que 10 gouttes de liqueur bleue, tandis que le même volume du liquide de β en réduit 15. . . . . β.

L'air du sac, avant l'expérience, contenait 90 pour 100 d'oxygène. Après l'expérience, il n'y en avait plus que 76,5 avec 10,7 d'acide carbonique.

La tension de l'oxygène s'était donc élevée environ à 600, ce qui correspond à 30 atmosphères d'air.

Expérience CCXCIII. — 18 février. — Chien pesant 10k, à jeun depuis le 17 au matin. Température rectale, 40°.

A 1h 30m, je lui mets un tube dans la trachée.

A 2h, sa température rectale n'est plus que de 39°,8.

De 2h 5m à 2h 20m (15m), je le force à inspirer et expirer dans un sac de caoutchouc contenant 41l d'air ; vers la fin, l'animal éprouve une certaine gêne respiratoire, fait de grandes inspirations, et s'agite un peu. J'appelle *a* l'air de ce sac.

A 2^h 45^m, je prends 25^{gr} de sang de la carotide et le mêle avec 25^{gr} de sulfate de soude et 10^{gr} d'eau distillée. . . . . α.

A 2^h 55^m, est mis dans l'appareil à compression, avec le sac à oxygène, dans lequel se trouve un peu d'eau alcalinisée.

A 3^h 16^m, est arrivé à 5 1/2 atmosphères ; décomprimé en 2^m et demie.

Le chien ne présente que de faibles convulsions, durant à peine 1/4 d'heure. Il a salivé très-abondamment ; sa température est de 38°.

A 3^h 25^m, tiré 25^{gr} de sang carotidien (β), qui est traité comme le sang.. . . . . α.

A 3^h 40^m, tiré 33^{cc} de sang ; l'animal respire avec calme depuis longtemps.. . . . . A.

De 3^h 43^m à 3^h 58^m (15 minutes), je fais respirer le chien dans un sac contenant la même quantité d'air que le sac *a* ; j'appelle *b* cet air. L'animal souffre également à la fin de ce séjour respiratoire.

A 4^h 20^m, l'animal étant fort tranquille, je lui tire 33^{cc} de sang carotidien. . . . . B.

A 4^h 45^m, température rectale, 36°,5.

A 6^h, tiré 33^{cc} de sang. . . . . C.

Aussitôt après, sa température est trouvée de 37°.

A 6^h 15^m, je prends encore du sang que je traite comme α et β (γ).

Température rectale, 37°.

J'ôte la canule trachéale ; le chien peut marcher un peu. A 7^h 10^m, sa température est remontée à 39°. Il survit.

L'air du sac contenant, avant l'expérience, 90,8 pour 100 d'oxygène, et après l'expérience, 77,3 d'oxygène et 8,4 d'acide carbonique, la tension a dû s'élever à 440, soit 22 atmosphères d'air.

Le sang A (22^m après la décompression) contenait.	0 : 17,5 ; CO^2 : 20,0
— B (1^h après la décompression) contenait.	0 : 17,2 ; CO^2 : 17,0
— C (2^h 40^m après la décompression) contenait..	0 : 16,3 ; CO^2 : 26,5

Les liquides produits par l'ébullition des sangs α, β, γ, donnent les résultats suivants :

5^{cc} du liquide fourni par α (avant la compression) décolorent 15 gouttes de liqueur bleue.

5^{cc} du liquide fourni par β (10^m après la décompression) décolorent 35 gouttes de liqueur bleue.

5^{cc} du liquide fourni par γ (3^h après la décompression) décolorent 15 gouttes de liqueur bleue.

Les analyses de airs *a* et *b* montrent que :

1° En *a*, le chien, avant la compression oxygénée, a consommé, en 15^m, $4^l,89$ d'O, et produit $2^l,99$ de CO^2 ; soient en une heure $15^l,56$ d'O. et $9^l,98$ de CO^2.

2° En *b*, le chien, après la compression, n'a consommé, en 25^m, que

$3^l,37$ d'O, et produit seulement $1^l,88$ de CO^2; soient en une heure $8^l,88$ d'O. et $4^l,51$ de CO^2.

Expérience CCXCIV. — 23 février. — Chienne épagneule forte.

Température rectale, 39°.

A 2^h 15^m, je lui mets un tube dans la trachée; les respirations deviennent très-rapides, 110; il y a 120 pulsations.

A 2^h 40^m, pris à la carotide 25^{gr} de sang, qui sont traités comme à l'habitude pour la recherche du sucre. . . . . α.

A 2^h 40^m, la température rectale est 38°. La respiration se calme, et tombe à 40 par minute.

De 2^h 45^m à 3^h (15^m), l'animal respire dans un sac clos, contenant $47^l,14$ d'air. Les respirations, calmes d'abord, deviennent gênées au bout de 7 à 8^m. J'appelle *a* l'air de ce sac.

A 3^h 45^m, la température rectale est toujours 38°.

A 3^h 15^m, mis dans l'appareil, avec sac à oxygène.

A 3^h 40^m, arrivé à 6 3/4 atmosphères, décomprimé brusquement. Est en convulsions, assez fortes. Écume blanche très-abondante à la gueule.

Température rectale, 37°.

A 3^h 45^m, tiré un peu de sang pour recherche du sucre; l'animal est en convulsions. . . . . β.

A 4^h, l'animal est calme; 14 respirations, 60 pulsations.

De 4^h 12^m à 4^h 27^m (15^m), mis à respirer dans la même quantité d'air pur que ci-dessus (*b*). Les respirations restent calmes tout le temps.

A 5^h, température rectale encore 37°. L'animal mis à terre marche assez bien. Il survit.

L'air du sac à oxygène contenait au début de l'expérience 86,4 d'oxygène; à la fin, il n'en contenait plus que 68,1 avec 10,4 pour 100 d'acide carbonique. La tension de l'oxygène avait donc dû s'élever à environ 460, soit 23 atmosphères.

Le liquide fourni par le sang α décolore, par 5^{cc}, entre 10 et 15 gouttes de liqueur bleue; celui du sang β en décolore entre 15 et 20.

Quant à la consommation d'oxygène, elle a été dans l'expérience *a* de $3^l,95$, et dans l'expérience *b* elle est tombée à $2^l,15$. La production d'acide carbonique a baissé également de $2^l,41$ à $1^l,99$.

Expérience CCXCV. — 24 février. — Chienne pesant 17^k.

2^h 55^m; respiration par les voies naturelles, calme; température vaginale, 40°. Je tire 33^{cc} de sang carotidien. . . . . A.

3^h 12^m, je mets un tube dans la trachée; respirations rapides; puis, je fais une saignée artérielle de 500^{gr}.

3^h 47^m, pris 25^{cc} de sang ($\theta = 39°$). . . . . B.

De 4^h 10^m à 4^h 40^m, mise dans l'appareil avec un sac contenant de l'air à 93 pour 100 d'oxygène. La pression monte à 6 3/4 atmosphères.

Décomprimée brusquement, trouvée morte, flasque, $\theta = 37°$.

La tension de l'oxygène était montée à environ 580, soit 29 atmosphères d'air.

A (respir. nat.). . . . . 17,0 d'oxyg. et 38,5 de CO^2.
B (respir. trach., forte saignée). . . . 16,5 — 14,4 —

Expérience CCXCVI. — 25 février. — Chien pesant 15^k^.

Pendant qu'il respire par les voies naturelles, je lui tire 33^cc^ de sang carotidien. . . . . A.

Sa température rectale est 40°.

Je lui mets ensuite un tube dans la trachée, et lui extrais en une heure 400^cc^ de sang artériel. Il ne fait pas de respirations extraordinaires et rapides, mais sa température s'abaisse à 37°,5 ; je prends les derniers 33^cc^ de sang pour l'analyser. . . . . B.

Porté de 3^h^ 45^m^ à 4^h^ 40^m^ à la pression de 6 atmosphères 1/2, avec un sac contenant de l'air à 90 pour 100 d'oxygène.

Retiré en pleines convulsions, excitables par l'introduction du thermomètre dans le rectum. $\theta = 36°$.

Les convulsions continuent, et l'animal meurt dans la nuit.

La tension de l'oxygène devait être au maximum de 520 environ, correspondant à 26 atmosphères d'air.

A (respiration naturelle). . . . . 19,0 d'O., et 42,0 de CO^2.
B (respiration trachéale, forte saignée). 13,1 — 13,2 —

Expérience CCXCVII. — 24 mai 1874. — Expérience faite devant la commission de l'Académie des Sciences.

Chienne de moyenne taille. Tube dans la trachée. Sac à oxygène.

On la comprime à 7 atmosphères. A ce moment (5^h^ 1/2), on prend 35^cc^ de sang carotidien, où se dégagent quelques gaz libres. Ce sang contient 33^cc^,2 d'oxygène pour 100^cc^ de sang, 76 d'acide carbonique, et 6,6 d'azote.

On décomprime brusquement, à 5^h^ 35^m^ ; l'animal n'a pas de convulsions. Un quart d'heure après, celles-ci surviennent par crises, et sont excitables ; à de certains moments, la chienne devient raide comme du bois.

On la chloroformise ; les convulsions s'arrêtent pour reparaître quand revient la sensibilité.

A 6^h^ 1/2, couchée sur le flanc, fait d'une manière continue le geste de marcher avec les deux pattes antérieures.

A 7^h^ 1/2, encore des raideurs.

Le lendemain, à midi, ces raideurs persistent. L'animal est resté toute la nuit couché sur le sol, sans avoir bougé de place. L'œil est insensible, la pupille ne revient pas à la lumière ; la température rectale est de 23°, celle du cabinet étant de 19°.

La chienne meurt dans la journée.

J'espère que le lecteur ne me reprochera pas cette longue série de descriptions. Les phénomènes que j'étudie en ce moment m'ont paru assez importants pour qu'il fût nécessaire d'en donner par le détail des exemples nombreux. Les

TABLEAU XV.

1 NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	2 DURÉE DE LA COMPRESSION	3 PRESSION BAROMÉTRIQUE EN ATMOSPHÈRES	4 TENSION DE L'OXYGÈNE DU SAC 0 × P	5 VALEUR DE CETTE TENSION EN ATMOSPHÈRES (CHIFFRES RONDS) $\frac{0 \times P}{20,9}$	6 TENSION DU CO^2 DU SAC $CO^2 \times P$	7 COMPOSITION DES GAZ DU SANG 0	8 CO^2	9 TEMPÉRATURE RECTALE	10 SYMPTOMES ET OBSERVATIONS
	min.								
CCLXXXII.	»	Air ; trachée ; resp. très-rapproch.	»	»	»	18,1	24,9	38°	Décompression en 1 heure ; pas de convulsions constatées.
		Oxyg. : Respirations lentes.	85	4,2	»	20,9	33,7	»	
		3 atm. 1/2	280	14	Potasse.	27,5	56,5	36°	
CCLXXIX.	30	Air libre ; trachée.	»	»	»	17,0	39,0	39°,4	Convulsions médiocres ; *survit.*
		5	380	19	40,5	24,8	75,0	36°,5	
CCLXXXIX.	35	Air, respir. naturelle.	»	»	»	16,0	44,5	38°	Convulsions fortes. Beaucoup de sucre dans le sang ; *survit.*
		6 3/4	420	21	86,2	»	»	»	
		Air ; 5 min. après la compression.	»	»	»	9,7	48,2	36°,5	
		Air ; 30 min. id.	»	»	»	13,9	10,5	»	
		Air ; 1 h. 15 min. id.	»	»	»	18,5	19,0	36°	
CCXC.	40	Air ; respir. naturelle.	»	»	»	18,7	44,0	37°,5	Convulsions fortes. Sucre dans le sang ; *survit.*
		7 1/2	440	22	55,5	»	»	36°	
		Air ; 30 min. après.	»	»	»	23,2	19,4	»	
		Air ; 50 min. après.	»	»	»	20,3	22,0	»	
CCXCIII.	»	Air ; trachée.	»	»	»	»	»	40°	Faibles convulsions ; *survit.* Consommation d'O. moindre après qu'avant. Beaucoup de sucre dans le sang.
		5 1/2	440	22	Potasse.	»	»	38°	
		Air ; 22 min. après la décompr.	»	»	»	17,5	20,0	»	
		Id. 1 h. id.	»	»	»	17,2	17,0	37°	
		Id. 2 h. 40 m. id.	»	»	»	16,3	26,5	37°	
CCXCIV.	25	Air ; resp. trach.	»	»	»	»	»	38°	Convulsions assez fortes ; *survit.* Consommation d'O. moindre après qu'avant. Sucre dans le sang.
		6 3/4	460	25	70,2	»	»	37°	
CCLXXXVI.	40	Air ; trachée.	»	»	»	15,8	43,0	39°,5	Fortes convulsions ; *survit.* Sucre dans le sang et les urines.
		4	320	16	»	23,9	59,0	»	
		6 1/2	480	24	»	28,7	69,4	37°	
		Air ; après 20 min.	»	»	»	12,4	9,9	36°	
CCLXXXI	45	Air ; trachée.	»	»	»	14,9	31,1	38°,5	Grandes convulsions ; calmées par le chloroforme ; *survit.*
		1 3/4	140	7	»	21,4	34,3	»	
		7	500	25	74,9	32,5	73,8	38°,5	
		Air libre ; 27 min. après.	»	»	»	16,9	21,0	39°	
		67	»	»	»	17,0	31,5	»	

CCLXXXVIII.	45	Air; respir. natur.	»	»	»	16,0	41,5	38°,5	Fortes convulsions; chloroformé; *survit.*
		Id. id. trachée.	»	»	»	23,4	15,2	»	
		4	500	15	»	28,5	68,3	»	
		6 3/4	510	25,5	58,0	30,7	82,0	37°	
CCXCVI.	55	»	520	26	»	»	»	»	Convulsions; *meurt* dans la nuit.
CCLXXVIII.	50	Air libre; tube dans la trachée.	»	»	»	15,5	22,9	36°	Convulsions très-violentes; *meurt* le lendemain, toujours en convulsions.
		5	350	17,5	»	24,0	63,0	»	
		7	480	24,0	»	31,5	54,6	»	
		8	530	26,5	43,2	»	»	30°	
CCXCVII.	»	Resp. trachée.	»	»	»	»	»	»	Fortes convulsions; chloroformés; *meurt* le lendemain.
		7	»	»	»	33,2	76	»	
CCLXXXVII.	40	Air; trachée.	»	»	»	17,2	22,3	38°,5	Fortes convulsions; *meurt* en 20 min.
		7 1/4	540	27	72,5	30,1	72,3	37°	
		Après la mort.	»	»	»	1,4	29,0	»	
CCLXXX.	50	Air libre; trachée.	»	»	»	14,4	41,0	38°,1	Convulsions; *meurt* en 1 heure; sucre dans l'urine.
		7	520	26,0	»	24,1	68,5	»	
		7 1/4	550	27,5	Potasse.	»	»	36°	
		Air libre; 40 min. après.	»	»	»	15,8	16,5	»	
		Id. 70 id.	»	»	»	15,8	28,3	34°	
CCLXXXV.	42	Air; respir. normale.	»	»	»	15,1	40,8	38°,5	Convulsions violentes; *meurt* en 45 minutes; beaucoup de sucre dans le sang.
		Id. trachée.	»	»	»	20,3	24,0	»	
		6 3/4	560	28	»	34,6	92,5	36°,7	
		Air; après 25 min.	»	»	»	19,0	14,8	35°	
CCXCI.	45	Air; respir. naturelle.	»	»	»	»	»	39°,5	Fortes convulsions; *meurt* en 15 min.
		7 1/3	560	28	58,4	»	»	38°	
CCXCV.	30	»	580	29	»	»	»	»	*Meurt* dans l'appareil.
CCXCII.	45	Air; respir. naturelle.	»	»	»	»	»	39°,8	*Meurt* en quelques minutes. Sucre dans le sang.
		7 1/4	600	30	77,6	»	»	38°	
CCLXXXIV.	55	Air; trachée.	»	»	»	12,1	29,6	39°	*Meurt* en 10 minutes.
		Oxygène.	90	4,5	»	14,1	24,5	38°,8	
		7 3/4	620	31	Potasse.	»	»	37°	
CCLXXXIII.	65	Air; trachée; resp. très-rapides.	»	»	»	19,8	20,9	38°,5	Retiré mort de l'appareil.
		Oxygène.	88	4,4	»	20,9	34,5	»	
		6	480	24	»	26,3	63,5	»	
		9	700	35	Potasse.	30,7	61,5	»	

questions qui se présentent devant nous sont multiples. Nous voici maintenant suffisamment informés pour les résoudre presque toutes.

Mais il est bon, tout d'abord, de dresser, selon notre habitude, un tableau (tableau XV) qui résume les résultats principaux des faits que nous venons de rapporter. J'y ai classé les expériences d'après le degré croissant de la tension de l'oxygène, tension qui est exprimée dans la colonne 4 par sa valeur réelle, et que la colonne 5 traduit en équivalence d'atmosphères.

Nous sommes en situation maintenant de faire une description complète des effets funestes de l'oxygène, d'en décrire les symptômes, et même de pénétrer dans le mécanisme de l'empoisonnement.

Occupons-nous d'abord des doses.

Les accidents convulsifs, comme nous le montrent les colonnes 5 et 10 du tableau, n'ont apparu d'une manière nette qu'aux environs de 19 atmosphères. Les chiens sembleraient donc un peu moins sensibles que les oiseaux, à comparer ce résultat à celui du tableau de la page 769. Cela n'aurait rien d'étonnant, mais cependant je ne fais nulle difficulté de déclarer que, sur ce point, mes expériences ne fournissent pas de renseignements suffisamment précis.

Je puis seulement dire que la durée de la compression est pour beaucoup dans l'intensité des manifestations de l'empoisonnement par l'oxygène. Je les ai vues survenir quelquefois pour des pressions dépassant à peine 10 atmosphères d'air, et aller jusqu'à entraîner la mort. Voici, par exemple, trois expériences :

Expérience CCXCVIII. — 26 avril. — Un lapin et deux moineaux sont placés dans le grand récipient à air comprimé.

De $1^h\,45^m$ à $2^h\,45^m$, on amène la pression à 10 atmosphères.

Vers 5^h, en regardant à travers les vitres de l'appareil, on voit que les animaux sont morts.

Expérience CCXCIX. — 30 avril. — Chien pesant $4^k,300$. Est mis à $9^h\,45^m$, libre, dans le grand récipient.

La pression est poussée à 10 atmosphères; elle y arrive à $10^h\,30^m$; on

ouvre alors le petit robinet de dégagement, de manière à entretenir un courant d'air sous 10 atmosphères; la pression monte même à 11 atmosphères, à 10ʰ45ᵐ; à ce moment, on regarde à travers les hublots, et l'on voit le chien renversé sur le dos, avec des espèces de convulsions. On ramène la pression à 10, et presque aussitôt l'animal revient à lui, se remet sur ses pattes et aboie en désespéré.

A midi, la pression est toujours de 10 atmosphères; le chien est resté debout et se met à aboyer avec fureur quand on approche de l'appareil.

Le courant d'air sous pression est entretenu.

A $2^h 15^m$, l'animal est couché, s'agitant demi-convulsivement.

Il meurt à 5^h; comme on a fermé le robinet depuis quelque temps, on prend un échantillon d'air, qui se montre sensiblement pur (O 19,8 ; CO^2 0,4).

Expérience CCC. — 15 février. — Deux moineaux friquets sont maintenus, de $11^h 30^m$ à $5^h 30^m$, sous une pression d'air qui varie de 8 1/2 à 9 1/2 atmosphères : courant d'air continu.

L'un d'eux (A) donne, au bout de quelques heures de séjour, des signes de malaise qui vont croissant.

Décompression très-lente. A est affaissé, présente des mouvements convulsifs des ailes, des pattes, de la queue; sa température, qui était de 41° au début, n'est que de 33°,8. A 7^h du soir, il a encore des mouvements convulsifs, s'appuie en arrière sur sa queue.

L'autre moineau paraît assez bien portant. Sa température est de 39°.

Tous deux meurent dans la nuit.

Je n'insiste pas sur ces dernières expériences. Pour nous en tenir à celles qui sont résumées au tableau XV, nous voyons que si, pour les compressions de peu de durée, les convulsions commencent à apparaître avec une tension de l'oxygène un peu inférieure à la valeur de 19 atmosphères d'air, elles sont énergiques et constantes au-dessus de 20 atmosphères, et entraînent toujours une mort des plus rapides, au-dessus de 27 atmosphères. Dans la seule expérience (exp. CCLXXXIII) où la tension de l'oxygène se soit élevée jusqu'à la valeur de 35 atmosphères, l'animal était déjà mort lorsqu'on l'a retiré de l'appareil.

Considérons, maintenant, la richesse du sang artériel en oxygène, telle que nous la présente la colonne 7 du tableau. Nous y trouvons d'assez grandes différences. Tandis, par exemple, que dans l'expérience CCLXXXI, la proportion d'oxygène s'étant élevée de 14,9 à 32,5, l'animal, bien que pris de

violentes convulsions, a survécu, nous voyons le chien de l'expérience CCLXXXVII périr en 20 minutes, sans avoir eu dans le sang plus de 30,1 d'oxygène, la proportion initiale étant 17,2. Tous les résultats montrent qu'il serait impossible de fixer d'une manière exacte, soit la quantité absolue d'oxygène avec laquelle arrivent les convulsions et la mort, soit son augmentation proportionnelle. Cependant, toutes les fois que l'animal a succombé, la quantité d'oxygène avait toujours dépassé 30 volumes par 100 volumes de sang.

Cette augmentation est, on le voit, bien peu de chose, puisqu'elle oscille entre le tiers ou moitié en sus de celle qui existait normalement.

Si, pour en examiner avec plus de fruit la marche générale, nous exprimons par des tracés, suivant nos conventions habituelles, les résultats contenus à la colonne 7, nous obtenons la figure 60. Les variations multiples que nous avons signalées se traduisent ici avec la plus grande évidence.

Que si nous faisons exécuter à toutes ces lignes un mouvement de glissement dans le sens vertical, qui amène leur origine, à toutes, à coïncider avec le nombre 20, et si nous prenons la moyenne des divers points correspondant à peu près à la même pression, nous obtenons, en définitive, une ligne — — — — d'une remarquable régularité, c'est-à-dire une ligne droite.

Ainsi, sur l'animal vivant, se trouvent confirmées les expériences *in vitro* comprises au sous-chapitre V du chapitre II : à partir d'une atmosphère, il ne s'ajoute au sang que de l'oxygène simplement dissous.

C'est un fait fort digne de remarque que les convulsions peuvent apparaître avec une richesse oxygénée du sang que présentent parfois des animaux sains, ou à laquelle ils peuvent presque atteindre, à la suite de respirations rapides. On voit d'abord par là que ce n'est pas la proportion d'oxygène contenue dans le sang qui est par elle-même dangereuse ; on voit ensuite que l'augmentation même de cette proportion, fût-ce à un degré élevé, ne constitue pas le danger. Il faut que cette augmentation soit permanente, qu'elle soit le résultat,

non d'une saturation meilleure des globules sous l'influence

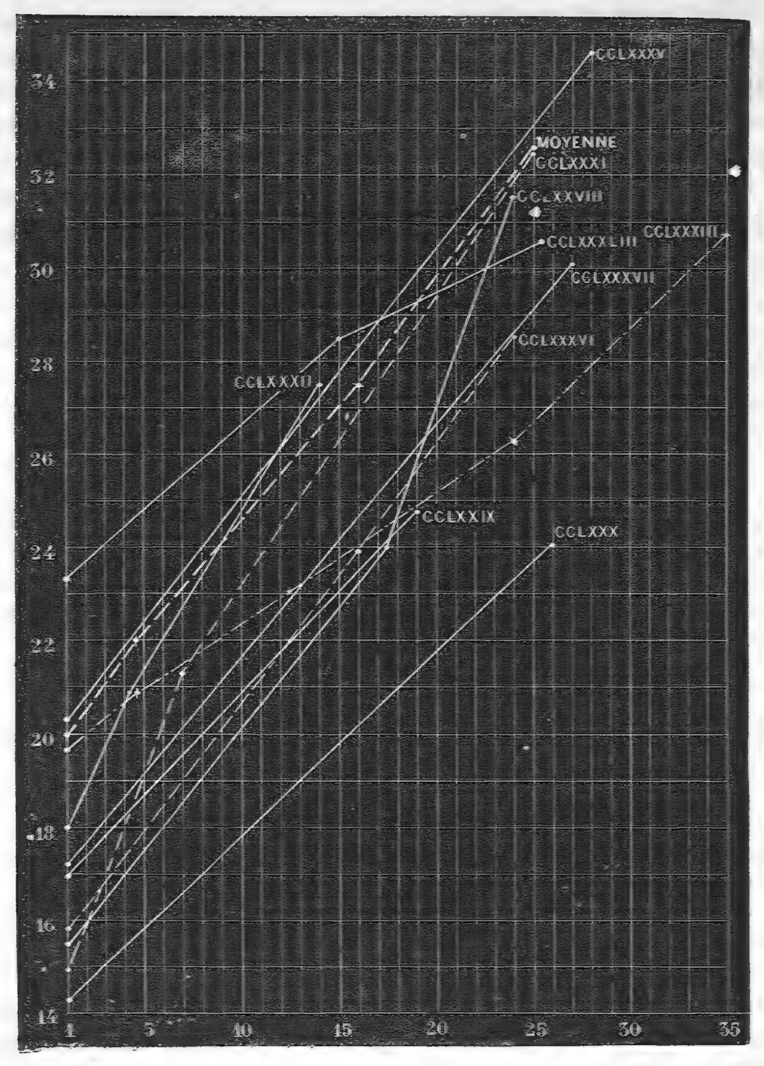


Fig. 60. — Chiens empoisonnés par l'oxygène : richesse croissante en oxygène de leur sang artériel.

d'une aération plus parfaite, saturation que l'action réductrice des tissus ramène aussitôt au degré normal, mais bien d'une

saturation due à ce que les tissus sont eux-mêmes saturés d'oxygène et en équilibre avec le sang.

C'est pour cette raison que les convulsions ne surviennent qu'après quelque temps de compression. Il faut que les tissus soient imprégnés de l'oxygène en surcroît que leur apporte et leur cède incessamment le sang qui s'en surcharge dans les poumons.

J'avais dû, au début de ces expériences, me demander si le sang n'était pas directement altéré par l'excès de l'oxygène, et ne devenait pas ainsi la cause des phénomènes convulsifs. L'inspection des globules au microscope ne m'y montrait, il est vrai, aucune altération de formes ni de dimensions; mais cela ne me suffisait pas. Je résolus alors d'injecter dans un chien sain du sang qui aurait été fortement suroxygéné. C'est ce que je fis dans les expériences suivantes :

Expérience CCCI. — 30 juin. — Sang de chien défibriné, agité dans l'appareil figuré à la page 697, sous la pression de 10 atmosphères d'air à 65 pour 100 d'oxygène. On chasse ensuite l'excès de gaz en tournant en fronde, au bout d'une corde, le flacon où est le sang. Il contient alors 24 volumes d'oxygène pour 100 volumes de sang. J'en injecte 200^{cc} dans la veine fémorale d'une chienne de 6^{k}.

Aucun accident, et même aucun malaise apparent.

Expérience CCCII. — 23 juillet. — Sang de chien défibriné; traité comme le précédent à 10 atmosphères suroxygénées; il contient 34 volumes d'oxygène.

Je saigne à la carotide un petit chien pesant 1640^{gr}; je lui retire 20^{cc} de sang très-rouge (ce sang se caille avec une rapidité extraordinaire), mais ne contenant que 7,3 d'oxygène, avec 33 d'acide carbonique; la pression artérielle était 13^{c}.

Je lui injecte dans la veine jugulaire 35^{cc} du sang sursaturé d'oxygène, qui a été agité en fronde.

Aucun effet.

Expérience CCCIII. — 10 août. — Sang de chien défibriné, traité comme ci-dessus, à 10 atmosphères suroxygénées; contenait 33 volumes d'oxygène.

Petit chien pesant 2085^{gr} : température rectale, 36°; pulsations, 160; respirations, 50. Je lui retire 100^{cc} de sang, il devient très-faible; sa température tombe à 34°,5; pulsations, 128; respirations, 30.

Je lui injecte alors dans la jugulaire 110^{cc} du sang suroxygéné; aussitôt l'animal se ranime, et, mis à terre, semble seulement un peu faible.

Aucun effet consécutif.

Ainsi, dans des conditions de compression, c'est-à-dire de saturation oxygénée, égales et même supérieures à celles qui occasionnaient la mort, le sang n'a acquis aucune qualité redoutable, et peut être substitué impunément, dans une proportion très-forte ($\frac{1}{19}$ du poids du corps), au sang d'un autre animal. Il faut ajouter que l'agitation dans l'oxygène comprimé n'avait duré que très-peu de temps, moins d'une heure. Nous verrons au sous-chapitre III du chapitre VI d'autres expériences faites à un autre point de vue avec du sang agité pendant plusieurs heures avec l'oxygène comprimé.

Mais arrivons à la description de l'attaque convulsive elle-même. Elle est vraiment curieuse et effrayante.

Prenons un cas de moyenne intensité : Lorsqu'on retire l'animal de l'appareil, il est généralement en pleine convulsion tonique ; les quatre pattes sont roidies, le tronc est recourbé en arrière ou un peu sur le côté, les yeux sont saillants, la pupille dilatée, les mâchoires serrées. L'examen ophthalmoscopique montre une forte injection du fond de l'œil. Bientôt survient une sorte de relâchement auquel succède une nouvelle crise de roideurs avec convulsions cloniques ressemblant à la fois à une crise strychnique et à une attaque de tétanos. Ces crises, pendant les intervalles desquelles le chien ne se relâche pas complétement, mais reste en opisthotonos, respirant avec une grande difficulté, suspendent la respiration, le cœur continuant toujours à battre, quoique souvent avec une étonnante lenteur ; la pression artérielle s'abaisse considérablement. La sensibilité reste conservée, et l'on peut, en la mettant en jeu, exciter de nouvelles convulsions. Après quelque temps, ces périodes convulsives, qui apparaissaient d'abord toutes les cinq ou six minutes, deviennent plus rares, puis moins violentes ; la roideur diminue dans les intervalles, et finalement tout disparaît au bout de quelques minutes, ou au plus de quelques heures.

Dans les cas plus légers, au lieu d'attaques tellement violentes qu'on peut *soulever l'animal par une seule patte, roide comme un morceau de bois*, ainsi que le montre la figure 61, on observe des mouvements désordonnés, des convulsions

locales, des phénomènes, en un mot, qui ressemblent beaucoup à ceux de l'empoisonnement par l'acide phénique. On voit parfois alors des actes qui semblent indiquer un certain désordre intellectuel.



Fig. 61. — Chien pendant les convulsions toniques de l'empoisonnement par l'oxygène.

Dans les cas très-graves, au contraire, la roideur est continuelle, avec quelques redoublements cloniques de temps à autre; les dents grincent et se serrent jusqu'à paraître près de se briser, et la mort peut survenir après une ou deux crises, dans le laps de quelques minutes. On trouve alors le

sang rouge, même dans le système porte ; puis il noircit. Alors que l'animal ne fait plus aucun mouvement, le cœur continue à battre encore pendant quelques minutes. D'autres fois, comme dans les expériences CCLXXVIII et CCXCVII, les convulsions durent près de 24 heures avant de se terminer par la mort.

On ne trouve ni congestions, ni ecchymoses, dans les poumons et dans les centres nerveux. Seulement, d'une manière constante, chez les moineaux, on voit le diploé crânien rempli d'un épanchement en piqueté, en taches plus ou moins grandes, ou même en nappe, envahissant toute la région occipitale, et, dans les cas les plus violents, toute l'étendue du crâne. Ces suffusions sanguines, dont le mécanisme ne me paraît point facile à expliquer, sont constantes dans l'empoisonnement par l'oxygène. Elles arrivent bien avant le moment de la mort. Mais elles ne sont pas spéciales à ce genre de mort, et dans les expériences qui précèdent on les trouve signalées, même dans l'asphyxie simple, sous diminution de pression (voy. p. 748 et 749).

La vue seule des symptômes que nous venons de décrire semble indiquer que l'action toxique produit son effet sur les centres nerveux, comme le font la strychnine, l'acide phénique et autres poisons convulsivants. Cette présomption est corroborée par ce fait que les inhalations de chloroforme arrêtent momentanément les convulsions, qui reparaissent quand a disparu l'anesthésie. Rappelons enfin que, d'après nos expériences sur les grenouilles, le membre postérieur dont on a coupé le nerf sciatique ne présente pas de convulsions dans les muscles animés par ce nerf.

Je puis donc reproduire ici, pour résumer tous ces faits, les conclusions de la note que j'ai eu l'honneur de présenter sur ce sujet à l'Académie des Sciences, le 17 février 1873.

« 1° L'oxygène se comporte comme un poison rapidement mortel, lorsque sa quantité dans le sang artériel s'élève à environ 35 centimètres cubes par 100 centimètres cubes de liquide ;

« 2° L'empoisonnement est caractérisé par des convulsions

qui représentent, suivant l'intensité des accidents, les divers types du tétanos, de la strychnine, de l'acide phénique, de l'épilepsie, etc.;

» 3° Ces accidents, que calme le chloroforme, sont dus à une exagération du pouvoir excito-moteur de la moelle épinière ;

» 4° Ils s'accompagnent d'une diminution considérable et constante de la température interne. »

C'est sur ce dernier point, laissé volontairement de côté jusqu'ici, que je vais insister maintenant.

§ 2. — De la diminution des oxydations par l'empoisonnement d'oxygène.

Lorsque je vis pour la première fois, sous l'influence de l'oxygène condensé, un moineau s'agiter dans des convulsions violentes, je m'imaginai d'abord que les oxydations intra-organiques avaient été chez cet animal tellement surexcitées, qu'il périssait pour se brûler trop vite, produisant ainsi une quantité de chaleur exagérée, qui peut-être devenait elle-même la cause directe de la mort. Je pensai donc que le thermomètre me montrerait une élévation de la température propre de l'animal. Grande fut ma surprise lorsque je constatai un résultat absolument opposé.

En effet, dans toutes les expériences, comme le montrent les nombres inscrits à la colonne 5 du tableau XIV (p. 769), et à la colonne 9 du tableau XV (p. 791), la température des animaux en expérience s'est abaissée notablement, avant et pendant les convulsions dues à l'oxygène.

Dès le début de l'empoisonnement, quand commençaient seulement à apparaître les phénomènes convulsifs, la température a baissé (expériences CCLXI, CCLXII, CCLXVII). Pendant les convulsions, elle diminue encore, et quand celles-ci doivent se terminer par la mort, elle atteint des chiffres très-bas (expériences CCXCIII, CCLXXXI, CCLXXVIII, CCXCVII), surtout chez les oiseaux, où elle descend au-dessous de 30,

et quelquefois même (expérience CXXXVII, p. 602) au-dessous de 20 degrés.

Si, au contraire, l'animal doit survivre, sa température remonte et revient en quelques heures à sa valeur normale (expériences CCLX, CCLXII, CCLXVII, CCLXXXIX, CCXCIII).

C'est donc un fait bien solidement établi, que l'excès d'oxygénation de l'organisme a pour conséquence une diminution d'intensité dans les actes chimiques qui produisent la chaleur animale.

Si l'abaissement de la température du corps nous a donné de ce fait étrange une démonstration certaine bien qu'indirecte, nous devons en trouver la preuve directe en examinant soit l'absorption de l'oxygène, soit les deux excrétions importantes de l'urée et de l'acide carbonique.

Échange pulmonaire. — Parlons d'abord de la consommation d'oxygène et de la production d'acide carbonique, qui se mesurent par une même expérience.

Les expériences rapportées au chapitre Ier sur les oiseaux morts dans l'air confiné et comprimé montrent bien que ces deux phénomènes ont diminué d'intensité pendant la compression. Mais il n'est possible d'en rien conclure, parce que l'acide carbonique qui s'emmagasine dans les tissus de l'animal vient ajouter son action à celle de l'oxygène, et nous verrons dans le chapitre VIII que l'acide carbonique, lui aussi, diminue les oxydations.

Quant aux expériences exposées dans le présent chapitre, elles ne peuvent non plus rien fournir pour ce qui se passe pendant la compression même.

J'ai donc dû instituer des expériences spéciales; malheureusement, le problème présentait des difficultés plus graves qu'on ne pouvait le supposer au premier abord.

En agissant sur des animaux maintenus en vases clos, comme l'idée devait en venir de suite, il fallait, pour la raison qui vient d'être indiquée, éliminer l'acide carbonique et s'en tenir à la mesure de l'oxygène consommé. Or, sous l'influence de la pression, il doit se dissoudre, dans le corps même de l'animal, une certaine quantité d'oxygène qu'il est

impossible d'estimer et de défalquer du chiffre total de l'oxygène disparu.

Ce n'est pas tout. Dans les nombreuses expériences que j'ai tentées par cette méthode, j'avais soin d'agir toujours comparativement, de mettre simultanément deux animaux identiques, l'un sous une cloche de capacité connue à la pression normale, l'autre dans un récipient à compression à une pression déterminée, en présence d'une solution de potasse qui absorbait l'acide carbonique au fur et à mesure de sa formation. Un certain temps écoulé, je faisais l'analyse des deux airs, et je pouvais aisément déduire la quantité d'oxygène absorbé par chacun des deux animaux pendant une certaine unité de temps. Malheureusement, les analyses centésimales faites nécessairement sur un petit volume prélevé sur la masse totale de l'air en expérience, doivent être multipliées par cette masse, afin d'obtenir la consommation totale, et les causes d'erreur d'ordre chimique ou physiologique prennent alors une valeur telle qu'elles dépassent les différences constatées entre les deux analyses.

Il a donc fallu renoncer complétement à ce mode d'expérimentation. J'en ai employé deux autres, qui ne prêtent pas à la même critique.

Le premier est un peu indirect. Il consiste à comparer la quantité d'acide carbonique rendu par le même animal placé successivement, en vase clos, dans l'air ordinaire ou dans un air suroxygéné, à un même degré de compression. L'action spéciale de l'acide carbonique se trouve ainsi éliminée, parce qu'elle est sensiblement la même dans les deux cas. Voici les détails d'une expérience ainsi conduite :

Expérience CCCIV. — Rat albinos. Température rectale, 38°.

10 *mai*. Placé de 4h 5m à 6h 35m (2h 30m) dans le grand récipient fait d'une bouteille à mercure (contenant 3 litres), sous la pression de 3 1/4 atmosphères d'air. Quand on le retire, sa température s'est abaissée à 30°; il est assez malade, respire lentement et largement, mais se remet assez vite.

L'air du flacon contient 12,5 pour 100 d'oxygène, et 6,6 pour 100 d'acide carbonique.

12 *mai*. — L'animal est parfaitement remis; on recommence la même

expérience, comme pression et comme durée; mais on emploie cette fois de l'air contenant environ 60 pour 100 d'oxygène. La tension de ce gaz correspond ainsi à celle de l'air comprimé de 9 à 10 atmosphères.

A la décompression, on trouve l'animal au plus bas, insensible au pincement, mais sensible à la cornée. Sa température rectale n'est plus que de 23°,8. Il ne fait aucun mouvement et meurt au bout d'une demi-heure; pas de gaz dans les vaisseaux.

L'air où il était contenait seulement 5,3 pour 100 d'acide carbonique.

Expérience CCCV. — 1er juillet. — A. Deux moineaux pesant ensemble 38gr, sont placés à la pression de 5 atmosphères d'air pendant 32m, dans le récipient à eau de Seltz.

Retirés par décompression brusque, sont très-bien portants, avec de faibles suffusions sanguines au crâne.

Ils ont, pendant ce temps, consommé 3,9 pour 100 d'oxygène, et produit 2,8 pour 100 d'acide carbonique.

B. Deux autres moineaux, pesant ensemble 39gr, sont placés ensuite dans le même appareil, à la même pression, mais dans de l'air contenant 72,6 pour 100 d'oxygène; la tension $5 \times 72,6 = 363,0$, correspond environ à celle de 18 atmosphères d'air. Ils restent dans l'appareil pendant 27 minutes.

Au bout de 5 minutes sont apparues les convulsions chez les deux oiseaux; elles durent avec intensité pendant 15 minutes. Puis les moineaux restent couchés sur le dos, avec respiration très-haletante.

L'un d'eux meurt au bout d'une heure; l'autre, après avoir paru se remettre, mais conservant d'incessants frémissements musculaires, est repris de convulsions après une heure et demie, et meurt en une demi-heure.

Tous deux entrent de suite en rigidité cadavérique : médiocres suffusions sanguines.

Ils ont, en 27 minutes, consommé 2,05 pour 100 d'oxygène, dont 1,07 dans les 17 premières, et seulement 0,35 dans les 10 dernières; ils ont produit, dans les 17 premières minutes, 1,07 pour 100 d'acide carbonique, et 0,28 dans le reste du temps, soit en tout 1,35.

On tire de ces chiffres que, en 10 minutes, à 3 atmosphères d'air, il a été consommé 1,2 pour 100 d'oxygène et formé 0,8 d'acide carbonique, tandis qu'à une tension correspondante à 18 atmosphères d'air, la consommation n'a plus été que de 0,7 et la production de 0,5.

Ces expériences montrent bien nettement que l'absorption d'oxygène et la production de l'acide carbonique diminuent quand augmente la tension de l'oxygène; la différence va en s'accentuant au fur et à mesure que dure l'expérience. L'expérience CCCVI fait voir que, dès 9 ou 10 atmosphères

d'air, cet effet se produit nettement, et que, à cette pression faible, la mort peut survenir à la suite d'une exposition suffisamment prolongée.

La seconde méthode expérimentale que j'ai employée a consisté à recueillir et à doser tout l'acide carbonique produit par un animal pendant un certain temps, sous diverses pressions, mais dans un courant d'air toujours pur :

Expérience CCCVI. — Rat pesant 160 grammes.

28 *juillet*. — Placé pendant une demi-heure dans le gazogène à eau de Seltz, à la pression normale, sous courant d'air donnant 2 litres à la minute. L'appareil est immergé dans de l'eau à 20°. L'air qui sort est recueilli dans un sac, et ensuite mis en rapport avec le barboteur à potasse de la figure 75, qui en absorbe tout l'acide carbonique; celui-ci est ensuite extrait d'un coup dans la pompe à mercure.

La température de l'animal a baissé de 38° à 37°,5.

Il a produit 247^{cc} d'acide carbonique.

2 *août*. — Même animal, mêmes dispositions générales.

Maintenu sous courant d'air, mais cette fois à la pression de 9 atmosphères, pendant le même temps.

Au sortir de l'appareil, n'a que 34°,6 au lieu de 38°,1.

A produit 176^{cc} d'acide carbonique.

Dans deux des expériences (CCXCIII et CCXCIV) faites sur les chiens, qui ont été rapportées au précédent sous-chapitre, j'ai mesuré la consommation de l'oxygène, et en même temps la production de l'acide carbonique, non plus pendant la compression, mais pendant les moments qui suivent la décompression, et même en pleine crise convulsive.

Cette mesure n'avait d'intérêt qu'au point de vue comparatif. Aussi le procédé que j'ai employé, qui n'a pas de prétention à la rigueur absolue, me permet-il de comparer ce qu'était capable d'absorber et de produire un chien avant d'être soumis à l'air comprimé avec ce qu'il consomme et produit au sortir du cylindre.

Les animaux en expérience avaient un tube dans la trachée. Je mettais ce tube en communication avec un sac rempli d'un volume connu d'air et laissais l'animal respirer dans le sac pendant un certain temps. L'opération étant répétée quelques minutes après la décompression, deux analyses chimi-

ques permettaient de déterminer la quantité des gaz absorbés et rejetés dans l'un et l'autre cas.

Or, l'expérience CCXCIII montre que, tandis qu'avant la compression le chien avait, en un quart d'heure, consommé 4^l,89 d'oxygène et produit 2^l,99 9e CO^2, il n'en a plus, dans le même temps, après qu'il a été retiré de l'appareil, consommé que 2^l,02 et formé que 1^l,12. Semblablement, dans l'expérience CCXCIV, la consommation de l'oxygène est tombée de 3^l,95 à 2^l,15, et la production d'acide carbonique de 2^l,41 à 1^l,99.

La diminution dans la production de l'acide carbonique par le fait de la suroxygénation de l'organisme se marque encore par l'étude des nombres inscrits dans la colonne 8 du tableau XV. Si l'on examine les expériences CCLXXX, CCLXXXI, CCLXXXV, CCLXXXVI, CCLXXXVII, CCLXXXIX, CCXC, CCXCIII, on voit que, quelques minutes après la décompression, on ne trouve plus dans le sang que des proportions minimes d'acide carbonique. Chose d'autant plus remarquable que, dans les conditions où se faisaient les expériences, l'acide carbonique s'était, pendant la compression, emmagasiné dans le sang en quantité considérable. Or, une fois de retour à l'air, cet acide a diminué jusqu'à s'abaisser bien au-dessous de la proportion normale; c'est ainsi que, dans l'expérience CCLXXXIX, il est tombé à 10,5 volumes pour 100 volumes de sang, sa proportion régulière, antérieure à la compression, étant 44,5; c'est ainsi que, dans l'expérience CCLXXXVI, la proportion avant la compression étant 43,0, elle est devenue pendant la compression 69,4, pour s'abaisser 20 minutes après à 9,9; dans l'expér. CCLXXXV, les mêmes chiffres ont été 40,8, puis 92,5, et enfin 14,8.

Il est donc bien évident que, par suite de la suroxygénation exagérée de l'organisme, l'acide carbonique a cessé de se produire dans les tissus, de se déverser dans le sang, ou du moins que ces phénomènes se sont considérablement ralentis. Ceci aurait été manifeste pendant la compression même, s'il m'eût été possible de faire vivre les animaux dans un courant d'oxygène comprimé, de manière à éviter un

emmagasinement de l'acide carbonique dû au confinement. Du reste, les expériences rapportées au chapitre II, où il s'agissait de pressions assez faibles, mais faites avec de l'air à peu près pur, montraient, comme nous l'avons fait remarquer, une diminution de l'acide carbonique du sang (voir le tableau XII, p. 661).

Il résulte de ces faits que l'agitation respiratoire intra-pulmonaire serait capable d'enlever au sang des proportions d'acide carbonique bien plus considérables qu'on ne l'aurait pensé, d'épuiser presque, en un mot, les bicarbonates et les phospho-carbonates, si l'organisme ne fournissait incessamment au sang veineux une source constante de ce gaz. Nous reviendrons dans un autre chapitre sur ces faits, mais il serait curieux de voir, par une expérience simple, dans laquelle un même sang serait forcé, par le jeu d'une pompe, de traverser incessamment les poumons, où l'on entretiendrait une respiration artificielle, jusqu'à quel point ce sang pourrait s'appauvrir en l'acide carbonique.

Disons, avant de quitter ce sujet, que l'acide carbonique ne reparaît qu'assez lentement en proportion normale dans le sang artériel, lorsque l'animal suroxygéné revient à lui-même et survit. Ainsi, dans l'expérience CCLXXXIX, au bout de $1^h 15^m$, la proportion de l'acide carbonique n'était encore que de 19,0 ; dans l'expérience CCXCIII, après $2^h 40^m$, elle ne s'était relevée qu'à 26,5 ; mais dans l'expérience CCLXXXI, au bout de 67 minutes, elle était revenue à son chiffre primitif, 31,5. Remarquons enfin que cette tendance au retour vers la proportion normale n'indique pas toujours que l'animal survivra : c'est ce que montre l'expérience CCLXXX.

Excrétion de l'urée. — J'arrive maintenant à l'urée. Les expériences ont été conduites comme celles dont il s'est agi à propos de la diminution de pression. L'animal, soumis à un régime déterminé depuis plusieurs jours, était pendant quelques heures maintenu dans l'air comprimé, avec un courant d'air convenable. L'urine rendue spontanément ou recueillie à la sonde dans les 24 heures précédentes était comparée à celle rendue dans les 24 heures où avait eu lieu

la compression. Au surplus, le récit des expériences donnera les détails nécessaires :

EXPÉRIENCE CCCVII. — Chien pesant 12^{k}, mange chaque jour, à 7^{h} du matin, une soupe composée de 250^{gr} de pain, 250^{gr} de viande, et 500^{gr} d'eau.

25 *juillet*, à 8^{h} du matin, sondé l'animal, qui est ensuite placé dans une cage où les urines peuvent être recueillies : il n'en rend pas, et le 26, à 8^{h}, un nouveau sondage amène 280^{cc} d'urine. Cette urine, analysée par le procédé Yvon, donne 4500^{cc} d'azote, c'est-à-dire $12^{gr},1$ d'urée.

26 *juillet*, de 9^{h} à 3^{h}, est soumis à 8 atmosphères de pression, sous courant d'air. Décomprimé de 3^{h} à 5^{h}, sort bien portant. Sa température rectale est 35°,5.

27 *juillet*, à 8^{h} du matin (température rectale, 35°,7), on le sonde et l'on réunit l'urine ainsi obtenue à celle qu'il a rendue spontanément. On a ainsi 350^{cc} d'urine, qui ne fournissent que 1598^{cc} d'azote correspondant à $3^{gr},7$ d'urée. Il faut dire que l'animal n'a voulu manger que la moitié de sa ration.

28 *juillet*, à 8^{h} du matin, sondé à nouveau; on a 520^{cc} d'urine donnant 3838^{cc} d'azote, soit $10^{gr},3$ d'urée. Pendant cette journée, l'animal avait absolument refusé de manger.

EXPÉRIENCE CCCVIII. — Chien pesant 16^{k}; depuis le 31 juillet, mange chaque jour 250^{gr} de pain, 250^{gr} de viande.

3 *août*, à $8^{h},30^{m}$, sondé.

4 *août*, à $8^{h},30^{m}$, sondé et réuni cette urine (100^{cc}) à celle qui a été rendue dans les 24^{h} (475^{cc}). On trouve ainsi, par le procédé Yvon, 8062^{cc} d'azote, soit $21^{gr},6$ d'urée. Température rectale 35°,8. A 9^{h} du matin est placé dans l'appareil, où la pression monte à 8 atmosphères; on commence à décomprimer à $4^{h}\,50^{m}$, toujours sous courant d'air; l'animal sort de l'appareil à $6^{h}\,20^{m}$; il est bien portant; sa température est de 35°,5.

5 *août*, à 8^{h} 1/2 du matin, la sonde a retiré 245^{cc} d'urine : il n'y a rien dans l'appareil. On obtient seulement 6329^{cc} d'azote, correspondant à $16^{gr},9$ d'urée.

Ces exemples suffisent pour montrer que les phénomènes chimiques desquels dépendent la formation de l'urée et celle des produits analogues sont entravés de la même façon que ceux qui déterminent la production de l'acide carbonique.

Sucre du sang; glycosurie. — La recherche du sucre dans le sang et dans l'urine nous montre encore une transformation chimique, la destruction de ce sucre, entravée par l'action de l'oxygène sans tension. Dans l'expérience CCLXXXVI, le

chien, qui a survécu après des convulsions d'une violence extrême, a rendu, après la décompression, des urines fortement sucrées ; dans l'expérience CCLXXXI, qui s'est terminée par une mort rapide, les quelques gouttes d'urine que contenait la vessie étaient extrêmement chargées de sucre. Cette glycosurie, cependant, n'est pas constante (expér. CCXC).

Les expériences CCLXXXV, CCLXXXVI, CCLXXXIX, CCXC, CCXCII, CCXCIII, CCXCIV, c'est-à-dire toutes celles où la recherche du sucre dans le sang a été faite, ont montré d'abord que, dans le sang artériel d'un chien qui a été soumis à la compression, il y a toujours beaucoup de glycose. Mais, comme on trouve toujours de la glycose dans le sang artériel, lorsqu'on le traite suivant la méthode de M. Cl. Bernard par l'ébullition en présence du sulfate de soude, il a fallu faire entre le sang avant l'expérience et le sang après la compression des expériences comparatives CCLXXXIX, CCXC, CCXCII, CCXCIII, CCXCIV, qui montrent d'une manière très-nette que le dernier contient plus de sucre que le premier. L'expérience CCXCIII prouve, en outre, que cet excès de sucre disparaît au bout de quelque temps.

Ainsi, le sucre qui sort du foie est beaucoup moins rapidement détruit dans l'organisme sous l'influence de l'oxygène comprimé qu'à la pression normale, si bien qu'il s'emmagasine dans le sang, jusqu'à produire la glycosurie.

Quant à la production de la glycose hépatique elle-même, elle est entravée par l'action suffisamment prolongée de l'oxygène en tension, comme le prouvent les expériences suivantes :

Expérience CCCIX. — 7 mars. — Rat albinos.

Température rectale, 39°,6.

Maintenu pendant 3 heures dans l'air comprimé à 12 atmosphères, au-dessus d'une solution de potasse qui absorbe l'acide carbonique au fur et à mesure de sa formation.

Retiré brusquement, sa température rectale n'est que de 35°,5 ; il meurt rapidement avec de l'air dans le cœur.

Son foie ne contient pas de sucre ; beaucoup de matière glycogène.

Expérience CCCX. — 15 mars. — Rat albinos ; température rectale, 39°,9.

A 12 atmosphères d'air pendant 3h, en présence de potasse.

Retiré : $\theta = 37°,2$; meurt comme celui de l'expérience précédente. Pas de sucre dans le foie.

En résumé : consommation d'oxygène, production d'acide carbonique et d'urée, destruction de la glycose dans le sang, tous les phénomènes chimiques dont la mesure est facile à faire, se montrent considérablement ralentis par l'action de l'oxygène sous forte tension. Et comme ce sont ces phénomènes qui déterminent la production de la chaleur, il n'est pas étonnant de voir que la température des animaux s'abaisse considérablement. Il n'est pas étonnant, non plus, de voir que la mort soit la conséquence d'une pareille dépression dans l'intensité des actes physico-chimiques de la nutrition.

Mais l'excitation violente, les convulsions constantes qui accompagnent cette mort, n'en restent pas moins inexplicables, par le fait seul de cette dépression ; moins explicable encore est la persistance des accidents après le rétablissement de la pression normale. Nous avons, en effet, dans l'étude de la diminution de pression, constaté une diminution des actes chimiques, analogue à celle que nous a révélée l'augmentation de pression, et cependant l'agitation convulsive qui précède la mort par dépression rapide n'est en rien comparable aux violentes convulsions dues à l'oxygène, et, de plus, le retour à l'air libre marque irrévocablement la fin de tous ces accidents.

Ceci montre donc que, pendant la compression, les actes chimiques réguliers de la nutrition ont été non-seulement ralentis, mais modifiés; il est supposable que le résultat de cette déviation a été la formation de quelque substance capable de jouer un rôle toxique, substance qui, persistant après la décompression, continuerait à entretenir les accidents et pourrait déterminer la mort, substance dont l'élimination ou la destruction seraient nécessaires pour le retour à l'état de santé.

Le chapitre spécialement consacré à l'étude des fermentations nous corroborera dans ce sentiment, et nous permettra même de l'exprimer avec plus de précision et de clarté.

§ 3. — Animaux aquatiques ou invertébrés.

Les expériences dont il a été rendu compte jusqu'ici n'ont été faites qu'avec des animaux vertébrés aériens : mammifères, oiseaux, grenouilles. Il était intéressant d'étudier l'action de l'oxygène à très-haute tension sur les animaux invertébrés aériens et sur les animaux aquatiques :

Expérience CCCXI. — 25 avril. — Chrysomèles, mouches, chenilles; scolopendres; cloportes; disposés en deux groupes semblables.

A — Placés dans flacon bouché; air ordinaire, pression normale.

B — Dans appareil à compression, et poussés à 6 atmosphères suroxygénées; la pression tombe à 2 atmosphères.

26 avril. — Tout est vivant, sauf les mouches de B.

Expérience CCCXII. — 12 mai.

Lézard; carabes dorés; abeille xylocope, chargée d'acarus; bourdon, punaises rouges; mouches; araignées; cloportes; scolopendres.

A 5h du soir, portés à 6 atmosphères suroxygénées.

13 mai : 10h du matin, décomprimé.

Le bourdon, les mouches, les cloportes sont morts, ainsi que plusieurs punaises rouges : les autres remuent encore un peu les pattes, ainsi que le xylocope.

Le lézard a des convulsions spontanées et excitables; il meurt quelques heures après.

Les carabes, les araignées, les acarus, les scolopendres vont bien et survivent.

Expérience CCCXIII. — 14 mai.

Carabe doré, abeilles, fourmis, punaises rouges, punaises de bois, mouches; cloportes; araignées; escargots; vers de terre.

A 5h du soir, placés dans l'appareil cylindrique en verre, avec des branchages, de la terre, etc., pour leur permettre de s'isoler les uns des autres. Poussés à 5 atmosphères suroxygénées.

15 mai, 2h. — Tout mort, sauf les araignées, les vers de terre, qui sont tordus, étranglés, et les escargots.

Tout meurt à l'air libre.

Expérience CCCXIV. — 16 mai.

Un capricorne, 1 libellule, 1 papillon bleu, plusieurs abeilles, bourdons, fourmis, punaises rouges, mouches, syrphes; scolopendres, géophiles; cloportes; araignées.

A 11h du matin, mis à 5 atmosphères suroxygénées; à 1h poussés à 6; à 2h à 11 atmosphères.

Presque aussitôt tout tombe au fond, immobile, sauf les fourmis et les scolopendres, qui montent et descendent.

Les mouches meurent en une demi-heure au plus.

4h : Rien ne remue plus. On décomprime.

Les abeilles, les mouches, les syrphes, le papillon, sont morts.

Le capricorne, la libellule, les bourdons, les punaises, les fourmis, les cloportes, remuent encore un peu.

Les myriapodes et les araignées vont bien.

Le lendemain, tout est mort, sauf les myriapodes.

Expérience CCCXV. — 23 juin.

Cocons de vers à soie, envoyés par M. Raulin, d'Alais, tous du même jour.

A, 12 sont placés dans une cloche ouverte.

B, 6 dans l'appareil cylindrique en verre, à 5 atmosphères suroxygénées.

On change l'air tous les deux jours.

8 juillet : A : tout est éclos;

B : ne remuent pas;

C : tout meurt; la peau des chrysalides n'est pas séparable; elles ont été évidemment tuées de très-bonne heure.

Ainsi, l'influence redoutable de l'oxygène comprimé se fait sentir aux animaux invertébrés comme à ceux qui appartiennent à l'embranchement supérieur.

Les animaux qui, les premiers, dans des expériences simultanées, ont éprouvé les effets funestes de l'oxygène, ont été les mouches; après elles, les abeilles, les papillons; puis les libellules, les punaises; notablement plus loin les fourmis et les coléoptères (longicornes, carabiques). Les cloportes, et surtout les arachnides (araignées, acariens) et les myriapodes (scolopendres, géophiles), résistent bien davantage. Puis viennent les vers de terre et les limaçons, au moins pour la durée de la vie, sinon pour la dose mortelle.

Le grand intérêt de cet ordre de recherches est de montrer que la mort par l'excès d'oxygène ne tient pas à un mécanisme particulier aux animaux à globules rouges, mais est un fait général. Il y a là une modification profonde dans la nutrition des tissus. Il est bon de noter que jamais ces animaux n'ont paru excités; au contraire, ils deviennent rapidement immobiles et fixés dans quelque coin de l'appareil, et meurent sans présenter aucune convulsion.

Comme type d'étude des animaux aquatiques, j'ai mis surtout en expérience les jeunes anguilles, dites *de la montée*, dont on voit aisément battre le cœur :

EXPÉRIENCE CCCXVI. — 1er avril. — Petites anguilles de la montée, transparentes, température, 15°.

A : 5 sont mises dans une éprouvette bien bouchée ;

B : à 3h, 5 sont placées dans l'appareil cylindrique et poussées à 11 atmosphères d'un air à 50 pour 100 d'oxygène. Tension de l'oxygène 550, correspondant à peu près à 26 atmosphères d'air.

Le soir, à 7h 1/2 ne présentent rien de particulier.

2 *avril*, 1h. A : vont bien.

B : mortes, roides, non transparentes, non contractiles à l'électricité.

EXPÉRIENCE CCCXVII. — 2 avril. — Anguilles semblables.

A : ce sont les mêmes que A de l'expérience précédente.

B : à 3h, 5 sont placées dans l'appareil à 5 1/2 atmosphères d'air à 57,5 pour 100 d'oxygène. La tension est ainsi de 316, correspondant à 15 atmosphères d'air.

3 *avril*, 10h du matin : A, très-vives; au repos, ont 78 respirations et 40 pulsations à la minute.

B : remuent quand on agite l'appareil, mais non spontanément. Ont au plus 20 pulsations ; les respirations, au repos, ne se voient pas ; aprés agitations, j'arrive à en compter 22. De temps en temps, agitation violente.

6h du soir ; ont des convulsions et se tordent en 8.

4 *avril*, 1h. B : toutes mortes, opaques.

EXPÉRIENCE CCCXVIII. — 4 avril. — Anguilles semblables.

A : ce sont celles des deux expériences précédentes.

B : 5 sont, à 4h, mises sous la pression de 10 atmosphères d'air.

5 *avril*, 9h du matin : A : très-vives, 66 respirations très-amples ; 26 pulsations.

B : au fond de l'appareil, remuent à peine; respirations invisibles ; 20 pulsations.

7 *avril*. — Id., toutes vivantes ; décompression rapide.

EXPÉRIENCE CCCXIX. — 8 juillet. — Anguilles non transparentes.

A 5h du soir, comprimées avec 10 atmosphères d'un air contenant 50 pour 100 d'oxygène ; on agite l'appareil pour saturer bien l'eau où sont les anguilles.

9 *juillet*, 1h : toutes mortes, opaques.

Je renverse l'appareil, de manière à faire sortir non de l'air, mais de l'eau, qui recueillie dans la seringue y mousse, et est portée dans la pompe à mercure.

Cette eau contient 14 vol. d'oxygène, pour 100 vol. de liquide, et autant d'azote.

Des pressions beaucoup plus faibles sont même suffisantes pour tuer les animaux aquatiques, lorsque leur action est assez longtemps continuée :

Expérience CCCXX. — 20 mai. — Têtards de grenouille, éclos depuis plusieurs jours et très-bien portants dans le laboratoire.

A — 5 dans petit flacon bouché, avec eau, à la pression normale.

B — 5 dans flacon avec eau, le tout dans l'appareil à compression en verre, à 7 atmosphères d'air ;

22 *mai :* tout vivant ;

24 *mai :* tout vivant à A, tout mort à B, probablement depuis la veille.

Expérience CCCXXI. — 24 mai. — Même expérience, avec animaux semblables ; 7 atmosphères d'air.

27 *mai :* tous les têtards de l'air comprimé sont morts.

Ainsi, les animaux aquatiques sont tués comme les animaux aériens, lorsque l'oxygène est dissous en quantité suffisante dans l'eau. La pression de 15 atmosphères les tue assez rapidement et ils ne peuvent vivre à 7 atmosphères. La transparence des anguilles a permis de constater un ralentissement considérable des battements du cœur, en même temps que les respirations s'affaiblissent jusqu'à devenir presque invisibles.

Nous tirerons dans une autre partie de ce livre les conséquences de ces dernières expériences au point de vue de la physique du globe. Il doit nous suffire ici de signaler la généralité de l'action funeste de l'oxygène comprimé, qui s'exerce aussi bien sur les animaux à sang chaud que sur les animaux à sang froid, sur les vertébrés que sur les invertébrés, sur les animaux qui vivent dans l'eau que sur ceux qui respirent l'air en nature, sur les animaux adultes que sur ceux en voie de développement. Les chapitres V et VI nous permettront d'étendre cette formule aux végétaux, aux ferments, en un mot, à tout ce qui vit.

SOUS-CHAPITRE II

ACTION DE L'AIR COMPRIMÉ A DE FAIBLES PRESSIONS (DE 1 A 5 ATM.)

L'intérêt de premier ordre qui s'attache à l'action toxique de l'oxygène à haute tension m'a fait, ainsi que je l'ai dit en commençant ce chapitre, débuter dans cette exposition comme dans mes recherches par l'analyse détaillée des effets de ce poison d'un nouveau genre. J'ai même, je l'avoue, pendant longtemps négligé, je dirai presque dédaigné, cette étude des actions de l'air faiblement comprimé sur laquelle les médecins français et allemands se sont, comme nous l'avons vu dans la première partie de ce livre, si longuement exercés. Je ne pouvais cependant m'en désintéresser absolument. Mes recherches lui donnaient même un intérêt nouveau, inconnu des anciens expérimentateurs.

En effet, les expériences qui viennent d'être rapportées ont démontré que l'empoisonnement par l'oxygène à haute tension a pour premier effet d'enrayer les combustions intra-organiques, de diminuer la quantité d'oxygène absorbée, d'urée excrétée, et, par suite, d'abaisser la température du corps chez les animaux à sang chaud. Or, il résulte des expériences contenues dans le chapitre III, que les mêmes effets physiologiques sont le résultat de la diminution de pression, ou, pour parler plus justement, d'une trop faible tension de l'oxygène respiré.

La question se posait donc tout naturellement de savoir où se trouve entre ces deux extrêmes également redoutables le point où les combustions organiques sont à leur maximum d'intensité.

De plus, il a été prouvé par les mêmes expériences que le séjour dans un air très-raréfié, d'une part, ou dans un air très-comprimé, d'autre part, est funeste aux animaux, alors même que les modifications de pression ne sont pas telles qu'elles entraînent les accidents rapides de l'asphyxie ou de

l'empoisonnement par l'oxygène. Il était du plus haut intérêt de rechercher quelle pression barométrique est la plus favorable à la vie. Et il n'est rien moins que démontré que ce point favorable coïncide avec le maximum de combustion que nous essayerons en même temps de déterminer ; cela est même peu vraisemblable *à priori*.

C'est dans le but d'essayer de résoudre ces deux questions qu'ont été entreprises les expériences exposées dans le présent sous-chapitre. Seulement, je dois rappeler encore une fois ici que je me conduis en physiologiste expérimentateur et non en hygiéniste ou en médecin. Pour l'étude de l'influence à longue portée de l'air comprimé, j'ai employé exclusivement des animaux inférieurs, parce qu'ils se prêtent bien plus facilement à la réalisation d'expériences dans lesquelles un séjour prolongé dans l'air à peu près confiné est indispensable, et parce qu'ils ne présentent pas les inégalités physiologiques qui viennent compliquer si gravement les recherches sur la nutrition des animaux supérieurs.

Tout semblait m'indiquer que les maxima que je cherchais devaient se trouver compris entre la pression normale et celle de cinq atmosphères. Le tracé A de la figure 22 (p. 608), qui exprime la teneur en oxygène de l'air comprimé et confiné où sont morts les animaux sans l'intervention de l'acide carbonique, était un indice important. C'est donc entre ces limites que je portai mes investigations.

J'avais pour me les fixer une raison d'un autre ordre, et qui a bien sa valeur. Il a été surabondamment prouvé par les expériences sur la diminution comme sur l'augmentation de pression que celle-ci n'agit que comme modificateur de la tension de l'oxygène, si bien qu'un air riche en oxygène et inférieur en pression à une atmosphère produit les mêmes effets qu'un air pauvre en oxygène, mais suffisamment comprimé. Dans le sous-chapitre précédent, j'ai, à maintes reprises, obtenu la tension de l'oxygène ($O \times P$) par la combinaison du facteur pression (P) avec le facteur richesse centésimale en oxygène (O). Ainsi, l'air ordinaire, sous la pression normale, a pour valeur, au point de vue qui nous

occupe, 20,9; à deux atmosphères, cette valeur devient $2 \times 20,9 = 41,8$; à cinq atmosphères, $5 \times 20,9 = 104,5$. C'est-à-dire qu'on peut indifféremment (si l'on a soin d'enlever l'acide carbonique produit, dont l'acide toxique pouvait venir compliquer les phénomènes) employer de l'air ordinaire à deux atmosphères de pression ou de l'air à 41,8 pour 100 d'oxygène, sous la pression normale; et de l'air ordinaire à cinq atmosphères, ou, sensiblement, de l'oxygène pur.

Cette observation présente un très-haut intérêt pratique, puisqu'elle permet d'expérimenter à la pression normale, c'est-à-dire dans des conditions matérielles faciles à réaliser et qui ne nécessitent pas, comme les hautes pressions, l'emploi de coûteux et fragiles appareils de verre.

Enfin, il m'a semblé que je ne pouvais pas absolument me désintéresser de ces modifications dans la circulation, la respiration, qui ont occupé avant moi tant d'observateurs dont les constatations, comme nous l'avons vu dans la partie historique (p. 428-457), sont loin d'être toujours concordantes. Je tenais particulièrement à mesurer la valeur de l'action mécanique de l'air comprimé, agissant sur les réservoirs gazeux de l'organisme, c'est-à-dire l'intestin et le poumon.

En conséquence, les expériences rapportées dans le présent sous-chapitre se diviseront tout naturellement en deux catégories: dans les unes, où l'air suroxygéné n'agira que pendant une faible période de temps, quelques heures, un jour au plus; dans les autres, son action sera continue, jusqu'à ce qu'il soit constaté qu'elle a eu ou n'a pas eu d'effet.

§ 1er. — Séjour peu prolongé dans l'air comprimé.

A. — *Expériences faites sur moi-même.*

Je rapporterai d'abord des expériences faites sur moi-même, dans le but d'examiner, d'une part, les phénomènes respiratoires et circulatoires, et, d'autre part, l'action de l'air comprimé sur l'excrétion de l'urée, c'est-à-dire sur l'un des témoins des combustions intra-organiques.

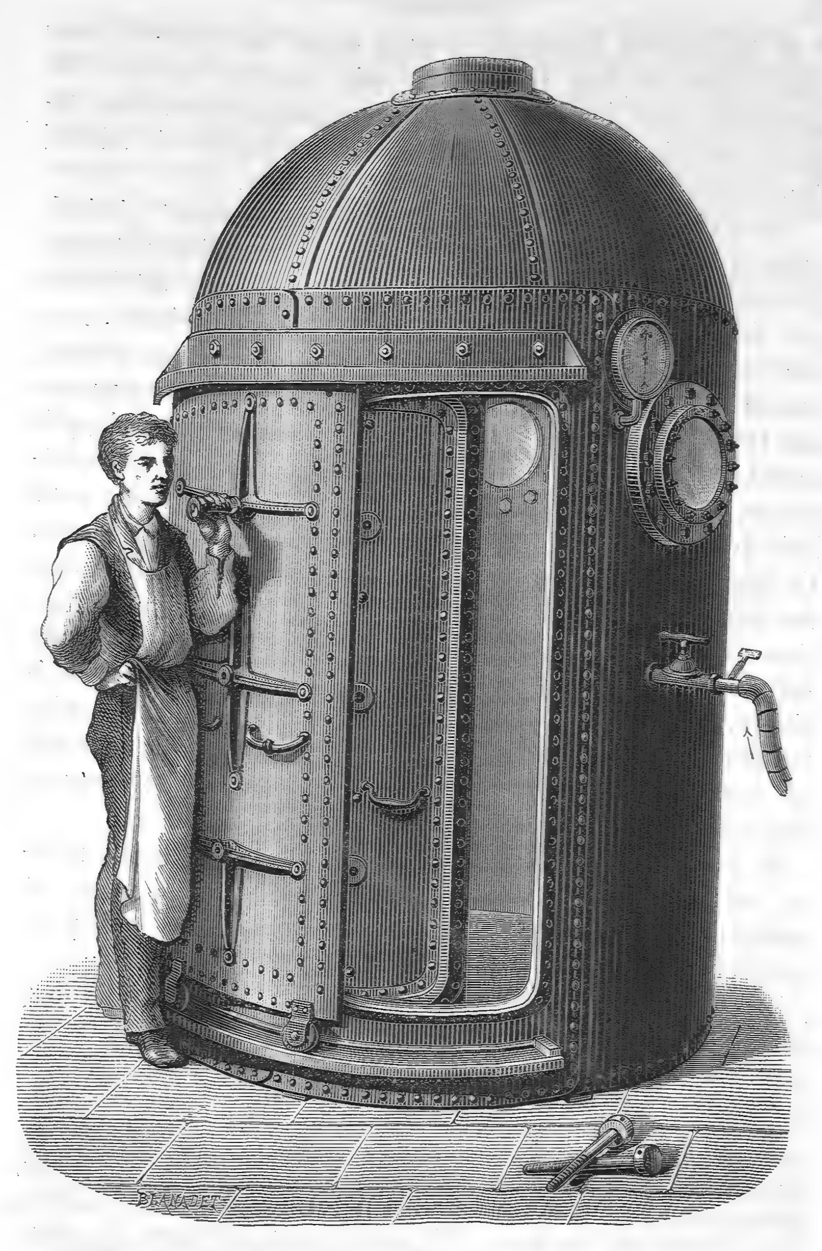


Fig. 62. — Appareil de M. Jourdanet pour l'emploi thérapeutique de l'air comprimé ou de l'air dilaté.

M. le docteur Jourdanet a bien voulu me prêter, pour cette partie de mes recherches, une chambre qu'il a fait construire pour les applications thérapeutiques, et dans laquelle un dispositif ingénieux permet d'obtenir à volonté l'augmentation ou la diminution de pression.

Cette chambre, dont la figure 62 donne l'aspect général, mesure 2m,58 de hauteur sur 1m,46 de diamètre, et cube par suite environ trois mètres et demi d'air; elle est fermée par deux portes, l'une intérieure, l'autre extérieure, roulant sur des galets, guidées par des rainures, et que relient, quand elles sont fermées, trois longues vis qui traversent des trous percés dans leur épaisseur. Comme elles s'appliquent sur les parois du cylindre par des plaques de caoutchouc, il en résulte que, pour l'air comprimé comme pour l'air dilaté, il en est toujours une qui clôt hermétiquement. Un tuyau de caoutchouc communique avec l'une ou l'autre des pompes à dépression ou à compression; la communication avec l'air extérieur s'établit par des orifices qu'on ne voit pas dans la figure, et que commandent des robinets intérieurs, dont l'expérimentateur est le maître; un autre robinet permet à ses aides de le décomprimer si quelque accident lui survient. A l'intérieur comme à l'extérieur, se trouvent thermomètre et manomètre de précision.

Je puis, dans cet appareil, en allant à toute vitesse, monter en une heure à une atmosphère de pression, tout en restant sous un courant d'air pur et suffisamment actif pour empêcher la chambre de s'échauffer de plus de 2 ou 3°.

Le nombre des pulsations était compté pendant 5 minutes, pour éviter des causes d'erreur à l'abri desquelles on ne se met pas assez souvent. Celui des respirations, pendant 5 et souvent 10 minutes.

Pour mesurer la quantité d'air expirée, je n'ai rien trouvé de plus commode et de plus précis qu'un compteur à gaz. Celui que j'ai fait construire spécialement dans ce but, et que représente la figure 63, porte plusieurs cadrans, grâce auxquels on peut estimer le volume de l'air qui a traversé l'appareil à 50cc près.

Quand il s'agissait de mesurer les expirations maxima, je me tenais debout, les vêtements bien relâchés, et, après l'inspiration, je prenais dans la bouche, sans aucun ajutage, le tube adducteur du compteur et soufflais avec une certaine lenteur jusqu'à épuisement complet, le nez étant bien entendu bouché avec la main gauche; je faisais ainsi au moins 10 expirations, dont je prenais ensuite la moyenne.

La même disposition s'appliquait au cas où je voulais expi-

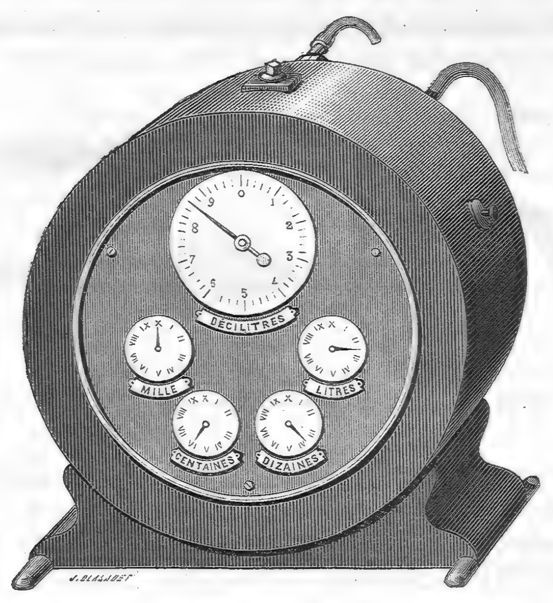


Fig. 63. — Compteur à gaz pour la mesure des mouvements respiratoires.

rer dans un sac de caoutchouc pour évaluer ensuite la quantité d'acide carbonique produite dans un temps donné. Je respirais alors pendant 10 minutes en général dans les sacs; puis l'air de ceux-ci était amené à traverser pendant toute une nuit les barboteurs à potasse dont je parlerai un peu plus bas; il s'y dépouillait complétement de son acide carbonique; la solution de potasse était alors reprise et analysée dans la pompe à mercure.

Mais pour la mesure des respirations régulières, l'instru-

mentation était plus compliquée ; il fallait avoir un appareil qui fonctionnât sans qu'on y apporte la moindre attention, car on sait avec quelle facilité se modifient, lorsqu'on veut les examiner, les mouvements respiratoires. Le dispositif de la figure 64 donne, comme me l'ont montré bien des expériences de critique, des résultats excellents.

Une embouchure de caoutchouc qui s'applique aux arcades dentaires et que maintiennent les lèvres sans gêne et sans efforts, se relie par un large tube de caoutchouc et une pièce de cuivre en Y avec deux tubes de verre qui contiennent cha-

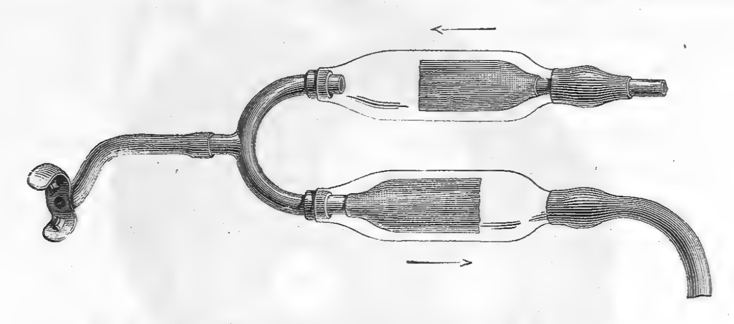


Fig. 64. — Appareil à double soupape pour l'étude de la respiration.

cun une soupape membraneuse, comme celles qu'emploient MM. Denayrouze dans leurs appareils si connus ; ces soupapes sont excellentes, très-délicates, et tiennent fort bien, à la condition d'être maintenues mouillées. Comme elles sont disposées en sens inverse, l'une permet seulement l'accès de l'air inspiré, l'autre la sortie de l'air expiré, qu'un tube de caoutchouc convenablement disposé conduit au compteur. Il va sans dire que le nez reste pendant tout le temps fermé à l'aide d'une sorte de pince qu'on s'habitue à supporter aisément.

Je respirais ainsi pendant 10 et quelquefois 20 minutes, restant dans un calme parfait, lisant, et me bornant à regarder l'heure ou à compter mes respirations ; encore parfois le faisait-on pour moi en m'examinant à travers un des hublots de verre.

Je réglais en outre avec le plus grand soin toutes les autres conditions de ma vie ; tous les jours j'allais au laboratoire et j'y restais assis de 2 à 6 heures dans l'appareil ou hors de l'appareil ; je ne faisais pas d'autre exercice.

C'est avec toutes ces précautions qu'ont été exécutées les expériences suivantes :

Expérience CCCXXII. — 6 novembre. Je commence à me mettre régulièrement au régime suivant, que des tâtonnements préalables m'ont montré être une ration d'entretien convenable. Mon poids est 73 kilog.; taille $1^{m},73$.

A déjeuner ($12^{h} 15^{m}$) : Deux œufs moyens, 70^{gr} de viande de mouton, dégraissée, 140^{gr} de pain, 800^{cc} d'un mélange par moitié d'eau et de vin.

A dîner (7^{h}) : 120^{gr} de viande de bœuf, dégraissée, 200^{gr} purée de pommes de terre, 6 cerises à l'eau-de-vie, pain et vin comme à déjeuner.

7 novembre. — Après avoir vidé la vessie à midi, je garde mon urine jusqu'au 8, à midi. . . . . A.

J'en fais autant les jours suivants.

Je reste ce jour-là à la pression normale.

8 novembre. — Je me mets sous la cloche de 3^{h} à 6^{h}; mais j'entretiens courant d'air à la pression normale.

Urine du 8 au 9. . . . . B.

9 novembre. — Assis à $2^{h} 45^{m}$ dans l'appareil ouvert ; 78 pulsations ; 8 respirations ; l'expiration maximum vaut $3^{l},7$;

A $3^{h} 18^{m}$, commencé la pression.

A $3^{h} 45^{m}$, pression 30^{c}.

A 4^{h}, pression 45^{c}; pulsations 80 ; expiration maximum 4^{l}.

A $4^{h} 12^{m}$, pression 53^{c}.

A $4^{h} 42^{m}$, même pression ; 72 pulsations.

A $5^{h} 10^{m}$, même pression ; 8, 2 respirations ; l'expiration maximum est de 4^{l}.

A $5^{h} 32^{m}$, la pression a été maintenue au même niveau ; je commence à décomprimer ; je sors de l'appareil à $6^{h} 53^{m}$.

A la pression normale, l'expiration maximum donne $3^{l},7$.

Urine du 9 au 10. . . . . C.

10 novembre. — Assis dans l'appareil à $2^{h} 35^{m}$.

L'expiration maximum vaut $3^{l},8$; la respiration calme donne à la minute 7, 6 respirations, valant $6^{l},3$, ou pour chaque expiration $0^{l},83$; pulsations 68.

Fermé les portes à $2^{h} 55^{m}$.

A $3^{h} 20^{m}$, 37^{c} de compression ; expiration maximum $3^{l},8$.

A $3^{h} 38^{m}$, 56^{c} ; expiration maximum 4^{l}.

A $3^{h} 50^{m}$, même pression ; 8, 1 respirations à la minute, valant $6^{l},7$, soit par chaque expiration $0^{l},82$.

A 4^h 25^m, même pression; expirations calmes donnent $6^l,2$ à la minute, sans compter le nombre.

A 4^h 50^m, id.; 6^l5 à la minute.

A 5^h, id.; 69 pulsations.

A 5^h 10^m, id.; expirations maximum 4^l.

A 5^h 37^m, id.; commencé la décompression.

A 5^h 45^m, 63 pulsations.

A 6^h 15^m, pression 15^c; 60 pulsations.

A 6^h 20^m, pression 10^c; expirations calmes donnent $6^l,2$ à la minute.

Pression normale à 6^h 30^m.

Urine du 10 au 11. . . . . D.

11 *novembre*. — Fin de l'expérience à midi.

Les urines ont été analysées par le procédé Gréhant, mais l'analyse a été perdue.

Expérience CCCXXIII. — 15 novembre. J'entre dans l'appareil avec un assez fort rhume de cerveau, de la toux et des douleurs trachéales annonçant un rhume de poitrine à son début.

A 2^h 40^m, à la pression normale, mon expiration maximum donne $3^l,75$.

A 2^h 50^m, j'ai 77,7 pulsations à la minute.

De 2^h 55^m à 3^h 5^m, expiré tranquillement dans un sac. . . . . . . A.

Les expirations ordinaires donnent au compteur $6^l,5$ à la minute.

J'ai 9 respirations à la minute.

A 3^h 10^m, on commence la compression.

A 3^h 55^m, compression de 52^c; les pulsations sont de 65 à la minute.

A 4^h, compression 60^c; expiration maximum $4^l,08$.

A 4^h 20^m. compression 56^c; à la minute 7,5 respirations.

A 4^h 30^m, id.; 62,5 pulsations.

Les expirations calmes donnent par minute $5^l,86$.

De 4^h 45^m à 4^h 50^m, expiré tranquillement dans un sac. . . . . . B.

A 4^h 52^m, commencé la décompression.

A 5^h, pression 40^c; les expirations calmes donnent par minute $5^l,93$.

A 5^h 15^m, pression 32^c; l'enchifrènement qui m'avait quitté me reprend ainsi que la pesanteur de tête; quelques minutes après (pression 20^c), reparaît la toux.

A 5^h 55^m, pression normale. J'ai par minute 65 pulsations; la ventilation pulmonaire donne $6^l,28$ à la minute; l'expiration maxima est de $3^l,8$.

Le rhume de cerveau cesse dans la nuit et le rhume de poitrine disparaît.

Le gaz A donne pour 10^m	$2^l,643$ de CO^2,	soit pour	1^h	$15^l,858$
— B —	$2^l,710$	—		$16^l,260$

Expérience CCCXXIV. — 17 décembre. Pression barométrique 74^c; je recommence à me mettre au régime de l'expérience CCCXXII.

Les urines sont recueillies à partir du 17 décembre à midi.

17 *décembre*. Resté à la pression normale.

Urine du 17 au 18, midi. . . . . A.

18 *décembre*. A la pression normale, de 2h 30m à 3h, l'expiration maximum est de 3l,76 ; la ventilation pulmonaire tranquille est par minute 6l,54; j'ai 81 pulsations.

A 3h, commencé la compression.

A 3h 44m, compression 48c ; l'expiration maximum donne 3l,96.

A 4h 30m, même pression; 79 pulsations; ventilation pulmonaire 6l,74 à la minute ; 8,3 respirations moyennes à la minute.

A 5h 12m, compression 52c ; on commence à décomprimer.

A 6h 15m, pression normale; 59 pulsations ; 8 respirations moyennes ; expiration maximum 3l,81.

A 7h 30m, 60 pulsations.

A 8h 15m, 83 pulsations.

Urine du 18 au 19, midi. . . . . B.

19 *décembre*. Pression barométrique 74c.

A 9h 30m du matin, 64 pulsations, et 8 respirations à la minute; à midi, id.

A 2h, encore pression normale, 68 pulsations.

A 2h 20m, commencé la compression.

A 3h 10m, compression 45c.

A 3h 35m, compression 54c.

A 3h 50m, compression 56c ; 82 pulsations; expiration maximum 3l,92.

A 4h, id.; commencé la décompression.

A 4h 45m, compression 37c.

A 5h 50m, pression normale ; 68 pulsations; expiration maximum 3l,80.

Urine du 19 au 20, à midi . . . . C.

20 *décembre*, pression 74c.

A 4 h, pression normale; 85 pulsations ; 6,5 respirations.

A 4h 10m, commencé la compression.

A 5h 10m, compression 50c; 6,6 expirations calmes ; je commence la décompression.

A 5h 30m, compression 41c; 66 pulsations ; 6 respirations.

A 6h 15m, pression normale; 58 pulsations; 5,6 expirations calmes à la minute.

Urine du 20 au 21, à midi. . . . . D.

21 *décembre*, pression normale; même régime.

Urine du 21 au 22, à midi. . . . . E.

22 *décembre*, pression normale ; même régime.

Urine du 22 au 23, à midi. . . . . F.

L'analyse des urines par l'hypobromite de soude donne :

A (pression normale)	1650cc	contenant	20gr,15	d'urée.
B (air comprimé)	2010	—	24gr,72	—
C —	1990	—	26gr,04	—
D (faible compression)	2255	—	21gr,18	—
E (pression normale)	2080	—	20gr,80	—
F —	2125	—	22gr,50	—

Expérience CCCXXV. — 9 février. M. Regnard, un de mes préparateurs, 27 ans, pesant $75^k,5$, taille $1^m,83$.

A $1^h\ 45^m$, pression normale ; 70 pulsations; 15,6 respirations ; ventilation pulmonaire de $12^l,28$ à la minute. Capacité respiratoire maximum $4^l,15$.

A 2^h, commencé la compression.

A $2^h\ 45^m$, il est à 52^c de compression, et y reste jusqu'à 4^h. A ce moment, le pouls a 57, il y a 14,6 respirations ; la ventilation pulmonaire est de $13^l,22$; l'expiration maximum donne $4^l,64$.

A $4^h\ 20^m$, commencé la décompression.

A $5^h\ 30^m$, pression normale ; pouls 56 ; respiration 16 ; ventilation pulmonaire $13^l,02$; expiration maximum $4^l,60$.

Voyons maintenant, en résumé, et suivant chaque grande fonction physiologique, ce que nous ont donné ces expériences. Le tableau suivant facilitera notre examen :

TABLEAU XVI.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	AVANT LA COMPRESSION				PENDANT LA COMPRESSION				APRÈS LA COMPRESSION			
	RESPIRATIONS	VENTILATION PULMONAIRE	EXPIRATION MAXIMUM	PULSATIONS	RESPIRATIONS	VENTILATION PULMONAIRE	EXPIRATION MAXIMUM	PULSATIONS	RESPIRATIONS	VENTILATION PULMONAIRE	EXPIRATION MAXIMUM	PULSATIONS
		lit.	lit.			lit.	lit.			lit.	lit	
CCCXXII	8	»	3,7	78	8,2	»	4,0	72	»	»	3,7	»
CCCXXII	7,6	6,3	3,8	68	8,1	6,5	4,0	69	»	6,2	»	60
CCCXXIII	9	6,5	3,75	78	7,5	5,86	4,08	62	»	6,28	3,8	65
CCCXXIV	»	6,54	3,76	81	8,3	6,74	3,96	79	8	»	3,81	59
CCCXXIV	»	»	»	68	»	»	3,92	82	»	»	3,80	68
CCCXXIV	6,5	»	»	85	6,6	»	»	»	5,6	»	»	58
Moyennes.	7,7	6,4	3,75	76	7,7	6,4	3,99	73	6,8	6,2	3,78	62
CCCXXV	15,6	12,28	4,15	70	14,6	13,22	4,64	57	16	13,2	4,60	56

Respiration. — Le nombre des respirations (col. 2 et 6), qu'il est, comme on sait, toujours très-difficile de mesurer exactement sur soi-même, a tantôt légèrement augmenté, tantôt diminué; la moyenne se trouve être la même pour l'air comprimé et pour la pression normale du début ; je ne compte pas la colonne 10 où il n'y a que deux chiffres inscrits.

La valeur de la ventilation pulmonaire (col. 3 et 7), c'est-à-dire la quantité d'air qui, pendant une minute, traverse le poumon lorsque les respirations sont calmes, est également restée la même. On peut en conclure que les variations sont d'une manière générale très-faibles. Ce point que n'avaient pas nettement déterminé les auteurs qui m'ont précédé (voyez page 509) est d'une grande importance, comme nous le ferons voir plus tard.

Enfin, mes expériences montrent, comme tous les observateurs l'avaient déjà constaté, un agrandissement notable de la capacité pulmonaire maximum (col. 4, 8, 12). En moyenne, l'expiration la plus forte que je puisse faire est passée de $3^{l},75$ à $3^{l},99$; c'est une augmentation de 240^{cc}, soit 6,9 pour 100. Chez M. Regnard elle a été de 450^{cc}, soit 11 pour 100. Je suis, lors de la décompression, revenu rapidement à l'état normal.

Circulation. — Le nombre moyen des pulsations a considérablement diminué pendant le séjour dans l'air comprimé; de 76 au début, il est devenu 73 lors du maximum de la compression et 62 à la sortie du cylindre.

Mais je dois dire que l'apparente netteté de ce résultat est singulièrement atténuée par ce fait qu'à la pression normale mon pouls interrogé aux mêmes heures, c'est-à-dire à la même distance du déjeuner, et après un repos assis de plusieurs heures, a donné des variations absolument du même ordre.

Nutrition. — Mes expériences sont bien peu nombreuses; mais elles ont été conduites avec les plus grandes précautions physiologiques. L'analyse de l'air expiré tranquillement pendant 10 minutes me donne (expérience CCCXXII) pour une heure à la pression normale $15^{l},858$ d'acide carbonique; au maximum de la compression (56^{c}), elle a fourni $16^{l},260$, soit une augmentation de $0^{l},418$, c'est-à-dire de 26 pour 100.

La production d'urée (expér. CCCXXIII) a donné un résultat plus intéressant; sous l'influence de l'air comprimé, elle a augmenté notablement (de $20^{gr},15$ elle est passée à $24^{gr},72$

puis à 26gr,04), pour retomber ensuite, sous la pression normale à des valeurs voisines de son taux primitif (21gr,18; 20gr,80; 22gr,50). En sorte que, en moyenne, elle a été à la pression normale de 21gr,9 pour monter à 25gr,3 dans l'air comprimé de 53c.

J'aurai occasion, dans la troisième partie de ce livre, de rapprocher ces chiffres de ceux qui ont été obtenus par M. G. Liebig et par M. Pravaz dans des travaux récents.

B. — *Production d'urée : expériences sur des chiens.*

J'ai cherché encore à mesurer les modifications apportées dans la production d'urée en mettant des animaux, des chiens, en expérience. Je les astreignais, bien entendu, à un régime de nourriture régulière; l'urine était recueillie par le sondage toutes les 24h et réunie à celle que l'animal avait spontanément émise.

Voici les résultats d'une de ces expériences, qu'aucun accident n'est venu entraver :

Expérience CCCXXVI. — 9 février. Chien pesant 10k,8, mis à un régime de nourriture régulier, et habitué au séjour dans les cages et dans l'appareil à air comprimé de la fig. 33, p. 655.

Le 12 *février* à 6h du soir on le sonde.

13 *février*. Est resté à la pression normale; sondé à 6h du soir; a rendu en 24 heures 650cc d'urine.. . . . . A

14 *février*. De 9h du matin à 5h,45m, maintenu sous courant d'air, à la pression totale de 3 atmosphères. Sondé à 6h; a rendu en tout 610cc d'urine. . . . . B

15 *février*. Même pression; urine des 24 heures, 1080cc C

16 *février*. Pression normale; urine des 24 heures, 1350cc . . . . . D

17 *février*. Pression normale; urine des 24 heures, 1370cc . . . . E

Analyse des urines par la méthode Yvon :

A (pression normale)	contenait gr.	7,9	d'urée.
B (3 atmosphères)	—	10,4	—
C —	—	9,0	—
D (pression normale)	—	9,1	—
E —	—	8,4	—

Il est bien évident que le sondage étant fait immédiate-

ment après la décompression, l'urine D contenait une partie des produits de désassimilation formés pendant le séjour dans l'air comprimé; elle doit donc être portée au compte des urines de la compression. On voit, après cette remarque, que l'urée a augmenté par le séjour quotidien de 9 heures dans l'air à 5 atmosphères; en effet, elle s'est alors élevée en moyenne à 9^{gr},5, tandis qu'à la pression normale elle n'était en moyenne que de 8^{gr}1.

C. — *Phénomènes chimiques de la respiration.*

J'ai fait un certain nombre de tentatives pour essayer d'estimer la quantité d'acide carbonique formé par un animal placé tantôt à la pression normale, tantôt à une pression augmentée sans dépasser cinq atmosphères. Mais j'ai rencontré des difficultés expérimentales qui m'ont empêché d'arriver à une conclusion.

Pour tourner ces obstacles, j'ai employé au lieu d'air comprimé les atmosphères suroxygénées, et j'ai mis en usage en le modifiant légèrement l'appareil monté dans mon laboratoire par les deux préparateurs du cours, MM. Jolyet et Regnard, appareil qui est à la fois une simplification et un perfectionnement de l'appareil Regnault et Reiset.

En voici la description succincte, que la figure 65 permettra de suivre aisément.

L'animal en expérience est placé sous la cloche C, qui est munie d'un thermomètre *t*, d'un manomètre *m*, et d'un petit sac en caoutchouc *v*, destiné à combattre l'influence des modifications extérieures de la pression barométrique, élément dont il faut tenir compte dans des expériences qui peuvent durer plusieurs jours.

L'air de cette cloche est incessamment purifié de l'acide carbonique qu'y produit la respiration de l'animal, par le jeu des pipettes P et P' et du flacon laveur A. Flacons et pipettes contiennent une solution très-concentrée de potasse, dont la richesse en CO^2 a été antérieurement déterminée à l'aide de la pompe à mercure et d'un acide ; ils sont mis en action par

une petite machine à eau M, et un jeu de poulies et d'ex-

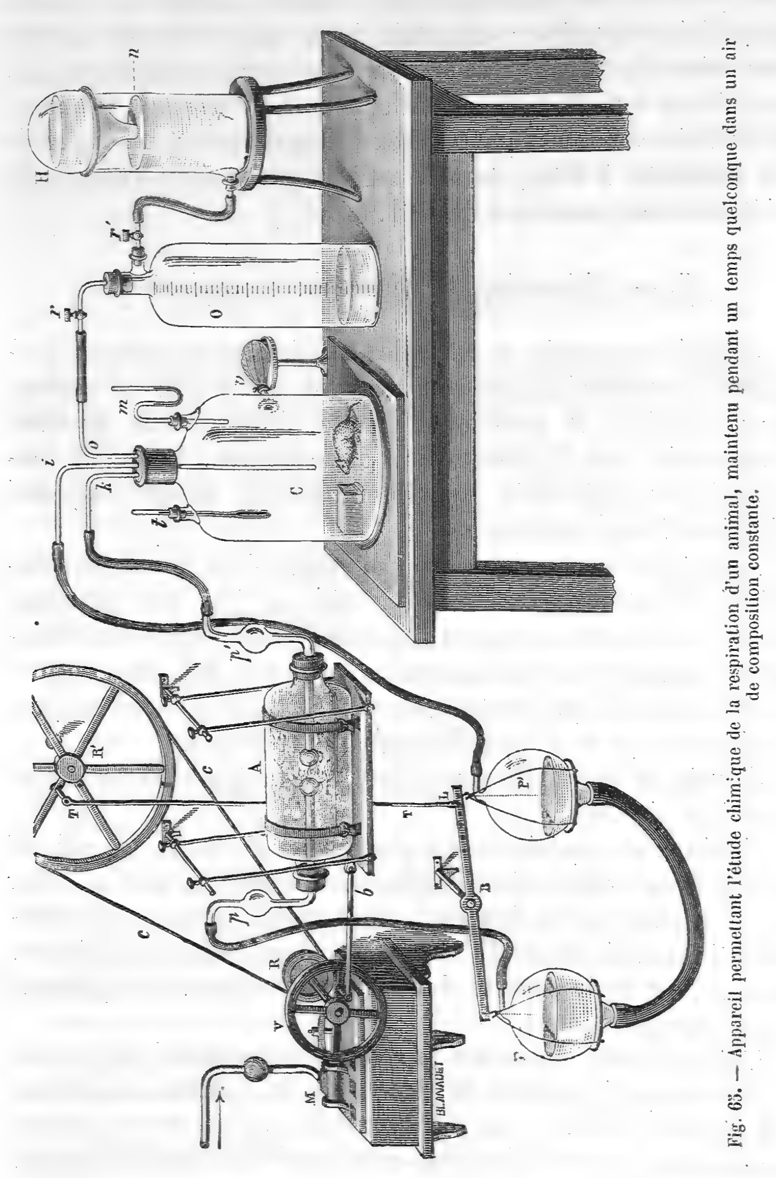


Fig. 63. — Appareil permettant l'étude chimique de la respiration d'un animal, maintenu pendant un temps quelconque dans un air de composition constante.

centriques qui se comprend à la seule inspection de la figure ;

l'agitation du flacon A est si énergique qu'il paraît rempli de mousse. L'air qui a traversé les solutions alcalines en suivant la voie $iP'PpAp'K$, rentre dans la cloche absolument dépouillé de son acide carbonique.

Mais l'animal consomme de l'oxygène, et il y a par suite tendance à une diminution de pression dans l'appareil. Or, de l'oxygène pur, obtenu par la décomposition de l'eau par la pile, est contenu dans le flacon gradué O, et, grâce à un appareil à niveau constant H, rempli d'une dissolution concentrée de chlorure de calcium, l'oxygène vient bulle à bulle remplacer celui qui a disparu par la respiration.

Lorsque l'expérience est terminée, une simple lecture sur la cloche graduée donne la quantité d'O consommé; pour l'acide carbonique produit, on recueille les solutions potassées, et l'on en fait l'analyse, en présence d'un acide, dans le vide de la pompe à mercure.

Expérience CCCXXVII. — Rat pesant 360^{gr} habitué depuis une dizaine de jours à vivre dans la cloche sous courant d'air, avec sa nourriture et sa boîte :

1° Le 23 *décembre*, à 3^h, l'expérience commence dans l'air ordinaire.

Au bout de 24^h, on l'arrête; on trouve que l'animal a consommé 12^l,360 d'oxygène, et formé 7^l,310 d'acide carbonique.

La température du rat était avant l'expérience de 38°,5; elle est après de 38°.

2° Le 25 *décembre*, à 4^h, on fait passer dans la cloche où est le rat et dans l'appareil un courant d'oxygène. Puis le système étant clos, on fait marcher pendant un quart d'heure les pipettes de manière à mêler l'air des divers récipients. On en prend alors un échantillon qui donne 87,5 pour 100 d'oxygène.

Après 24^h, arrêt de l'expérience; la consommation d'oxygène a été de 11^l,352; la production de l'acide carbonique de 6^l,964.

Température du rat : avant, 38° ; après, 37°,5.

3° Le 3 *janvier*, à 3^h, refait l'expérience dans l'air ordinaire.

En 24^h, la consommation d'oxygène a été 12^l,840: la production d'acide carbonique 6^l,820.

4° Le 5 *janvier*, à 3^h, expérience dans l'air à 48,7 pour 100 d'oxygène.

En 24^h, la consommation d'oxygène a été 13^l,724; la production d'acide carbonique 10^l,320.

En résumé, si nous transformons les richesses centésimales en oxygène dans leurs équivalences de pression barométrique, nous dirons qu'il y a eu

A 1	atmosphère,	$12^l,60$ d'oxygène consommé,	$7^l,06$ de CO^2 formé.	
A 2,5	—	$13^l,72$ —	$10^l,32$	—
A 4,2	—	$11^l,35$ —	$6^l,96$	—

L'activité des combustions organiques a donc été en augmentant d'abord, pour diminuer ensuite après avoir passé un certain maximum qui est probablement placé au-dessus de 2 atmosphères.

Les animaux à sang froid m'ont donné un semblable résultat. Mais pour eux il n'était pas nécessaire d'employer un appareil aussi compliqué, vu la faiblesse de leur respiration. Le dispositif instrumental était le même que celui des expériences faites sur les tissus (chapitre VI), et que représente la figure 74 ; l'animal était placé dans le flacon, exhaussé sur un petit trépied qui l'empêchait de toucher à la solution de potasse :

Expérience CCCXXVIII. — 11 janvier. Trois grenouilles (A, B, C,), agiles et bien portantes, sont placées chacune dans un de ces appareils. La température est 15°.

A pèse 28gr et est placée dans l'air ordinaire ;
B pèse 20gr ; air à 56,3 pour 100 d'oxygène ;
C pèse 20gr ; air à 92,5 pour 100.

Les animaux sont laissés dans ces conditions jusqu'au 15 janvier.

On fait alors l'analyse des solutions de potasse, et les lectures des cloches graduées. Il en résulte que

A a consommé	205cc d'oxygène	et produit	»	de CO^2.
B —	157cc	—	71cc,8	—
C —	114cc	—	62cc,8	—

Si l'on tient compte des poids différents de ces divers animaux, et si on les rapporte tous à 20gr, on voit, remplaçant les teneurs de l'air en oxygène par les valeurs correspondantes en pression barométrique, qu'il y a eu :

A 1 atm.,	146cc d'oxygène consommé et	»	de CO^2 produit.	
2,7 —	157cc	—	71cc,8	—
4,4 —	114cc	—	62cc,8	—

Cette expérience nous amène aux mêmes conclusions que la précédente, relativement aux combustions intra-organiques.

D. — *Capacité pulmonaire.*

Les expériences que j'ai rapportées quelques pages plus haut ont corroboré cette affirmation des auteurs que l'inspiration maximum est plus grande dans l'air comprimé qu'à la pression normale.

Comme cette modification est assez considérable et qu'elle est le résultat instantané de l'augmentation de la pression ambiante, j'étais porté à croire qu'elle est due à une action mécanique, agissant, bien entendu, sur la seule partie compressible de notre individu, c'est-à-dire sur les gaz intestinaux. La simple diminution de volume de ces gaz devait, dans ma pensée, avoir pour conséquence une augmentation de la cavité thoracique, le diaphragme s'abaissant en même temps que la paroi abdominale pour suivre le retrait des intestins.

Dans le but de m'en assurer et de mesurer l'ampliation ainsi acquise, je disposai l'expérience suivante :

Un chien est tué par section du bulbe; on mesure aussitôt après, par le procédé exact qu'a imaginé M. Gréhant[1], sa capacité thoracique; puis on introduit dans sa trachée un tube ayant la forme d'un Y, dont une des branches débouche au dehors, tandis que l'autre communique avec un sac de caoutchouc bien purgé d'air; deux soupapes disposées en sens inverse permettent à l'air extérieur d'arriver par la première branche, tandis qu'il ne peut, une fois entré dans le poumon, s'échapper que dans le sac par la seconde branche. Les choses étant ainsi disposées, on porte le corps de l'animal dans un appareil à compression. Ses poumons, en communication avec l'air, peuvent subir les modifications de capacité dont

[1] Recherches physiques sur la respiration de l'homme. *Journal de l'anatomie et de la physiologie* de Robin; 1re année, p. 524; 1864.

nous cherchons à constater l'existence. Puis on décomprime brusquement : l'air du poumon, qui se trouve alors en excès, sort et se loge dans le sac, où l'on peut en mesurer le volume, qui indiquera s'il y a eu, oui ou non, augmentation dans la capacité thoracique.

Voici la formule bien simple qui sert à chercher et à calculer cette augmentation.

Appelons C la capacité pulmonaire à la pression normale, P la compression (nombre total des atmosphères) à laquelle a été soumis l'animal, et V le volume de l'air trouvé dans le sac après la décompression. Il est évident que la formule $\frac{C+V}{P}$ représentera la capacité pulmonaire pendant la compression, et la comparaison du nombre ainsi obtenu avec C montrera la valeur de l'augmentation.

Ceci établi, je liais à ses deux extrémités, anale et œsophagienne, le tube intestinal, et j'en recueillais les gaz sous l'eau; il était intéressant de voir le rapport de leur volume avec celui des variations thoraciques :

Expérience CCCXXIX. — 27 juin. Chien de $4^k,250$, qui vient de mourir empoisonné par le curare.

On le porte, disposé comme il vient d'être dit ci-dessus, dans l'appareil cylindrique, et on le pousse à 3 atmosphères ; après la décompression on trouve dans le sac 260^{cc} d'air.

Or, les poumons et la trachée de l'animal, extraits avec soin, et malaxés sous l'eau, après avoir été coupés en petits fragments jusqu'à ce que ces fragments aillent au fond de l'eau, ne laissent échapper que 115^{cc} d'air.

Il y a donc eu 15^{cc} d'augmentation de volume.

Le tube digestif contenait 60^{cc} de gaz, dont 45^{cc} dans l'intestin grêle. A 3 atmosphères, le volume ne devait plus être que de 20^{cc}. Donc, les 40^{cc} en moins ont été remplis à peu près pour un tiers par le diaphragme et pour deux tiers par la paroi abdominale.

Expérience CCCXXX. — 28 juin. Chien de $8^k,7$, tué par section de bulbe.

La capacité pulmonaire est de 500^{cc}.

Après avoir été à 3 atmosphères, on trouve dans le sac 750^{cc}.

Donc, d'après la formule ci-dessus indiquée, l'augmentation de la capacité thoracique avait été de 50^{cc}.

On recommence et l'on va jusqu'à 6 atmosphères. A la décompression, il y a dans le sac 2000^{cc}; l'augmentation dans ce cas a donc été de 83^{cc}.

Il y a dans le tube digestif 160^{cc}, qui, à 3 atmosphères, ont dû se réduire à 53^{cc} (diminution de volume : 107^{cc}), et à 6 atmosphères ne plus représenter que 27^{cc} (diminution : 133^{cc}.)

Expérience CCCXXXI. — 3 juillet. Chien pesant 8^{k},4, tué de la veille.

La capacité pulmonaire est de 369^{cc}.

On le comprime à 100^{cc} de mercure (pression totale). Le sac contient alors 157^{cc}.

Le volume réel se déduit de la proportion

$$100 : 76 = (369c + 157 = 526^{cc}) : x. = 399^{cc};$$

soit une augmentation de 30^{cc}.

Expérience CCCXXXII. — 13 juillet. Chien pesant 6^{k},63.

La capacité pulmonaire est de 196^{cc}.

On le porte à 3 atmosphères, puis on trouve dans le sac 512^{cc} d'air.

La capacité pulmonaire était donc de 236^{cc} ; soit une augmentation de 40^{cc}.

Expérience CCCXXXIII. — 26 juillet. Chien pesant 5^{k},5, tué par le curare.

Capacité pulmonaire 232^{cc}.

Porté à 3 atmosphères ; le sac contient 627^{cc} ; d'où capacité de 286^{cc}, c'est-à-dire augmentation de 54^{cc}.

Porté à 6 atmosphères ; le sac contient 1535^{cc} ; d'où capacité de 294^{cc}, c'est-à-dire augmentation de 62^{cc}.

Ainsi, notre prévision s'est vérifiée ; la capacité pulmonaire a augmenté dans l'air comprimé, par un simple effet physique, en dehors de toute intervention active des muscles respiratoires. Mais cette augmentation n'a jamais représenté qu'une fraction de la diminution de volume des gaz intestinaux. De plus, mes expériences montrent qu'elle ne grandit pas proportionnellement à la pression, tant s'en faut : ainsi, dans l'expérience CCCXXX, elle était à 3 atmosphères de 16 pour 100 de la capacité initiale, et à 6 atmosphères de 26 pour 100 seulement ; dans l'expérience CCCXXXIII, à 3 atmosphères, elle était de 23 pour 100, et à 6 atmosphères de 26 pour 100 ; bien plus, dans l'expérience CCCXXXI, avec un tiers seulement d'atmosphère, elle a été de 8 pour 100. Cela se comprend, du reste, le diaphragme devant rencontrer dans sa descente sur l'abdomen plus d'obstacles que les parois du ventre.

E. — *Pression intra-pulmonaire.*

On sait depuis longtemps que, au début de l'inspiration, l'air contenu dans la poitrine est un peu raréfié, et qu'il est un peu comprimé au commencement de l'expiration, qu'en d'autres termes, comme je l'ai dit ailleurs, « l'orifice glottique ne suffit pas au débit de la pompe respiratoire ». Ces variations dans la pression intra-pulmonaire, qui ont sur le cours du sang une influence si considérable, sont-elles les mêmes dans l'air comprimé que dans l'air normal? Nous avons vu (page 268) que Pravaz n'avait pas hésité à les considérer comme augmentées; mais il ne fournit, non plus que Vivenot et les autres médecins qui ont adopté son opinion, aucune preuve expérimentale à l'appui de son dire.

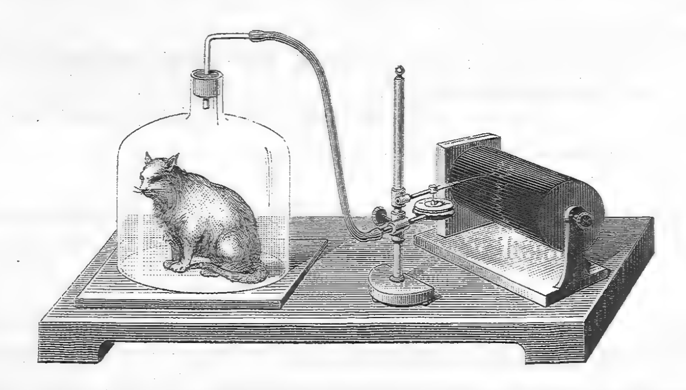


Fig. 66. — Appareil pour la constatation des variations de la tension aérienne intra-pulmonaire.

Pour étudier cette difficile question, j'ai mis à profit une méthode expérimentale que j'ai publiée il y a déjà longtemps[1]. Un animal est placé sous une cloche tubulée bien rodée (fig. 66) dont le bouchon laisse passer un tube coudé qui, par l'intermédiaire d'un tube de caoutchouc, se rattache au polygraphe-Marey. Les oscillations que présente alors l'aiguille, et qui correspondent aux mouvements respiratoires, sont, comme je

[1] *Leçons sur la physiologie de la respiration*, p. 384.

l'ai démontré, occasionnées par les changements de la pression intra-thoracique, et leur amplitude en donne une mesure relative.

Rien de plus simple que d'examiner alors les tracés qu'on obtient soit à la pression normale, soit dans l'air comprimé. Les seules précautionsà prendre sont de ventiler convenablement la cloche avant de mettre le bouchon, de n'enregistrer que lorsque l'animal est bien calme, et, pour l'air comprimé, d'éviter les variations de pression pendant la durée de l'enregistrement :

Expérience CCCXXXIV. — 12 février. Un chat est placé sous la cloche. A la pression normale, il donne le tracé de la figure 67.

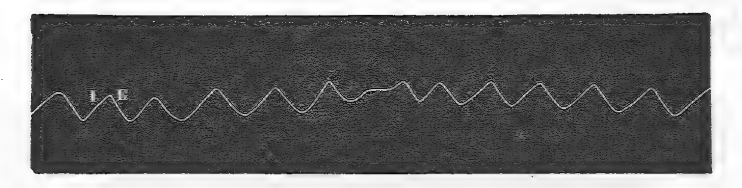


Fig. 67. — Variations de la tension intra-thoracique. Pression normale.

On entre avec lui dans le cylindre à compression, et en une heure environ, on atteint 53c de compression (pression totale 128c). On obtient alors le tracé de la fig. 68.

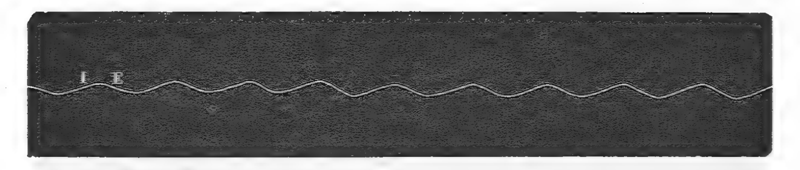


Fig. 68. — Variations de la tension intra-thoracique. Air comprimé.

L'examen de ces deux tracés montre : 1° que le nombre des respirations a diminué (dans la proportion de 10 à 7); 2° que l'amplitude des oscillations a également diminué, c'est-à-dire que les variations de la pression aérienne intra-thoraciques ont été moindres dans l'air comprimé qu'à la pression normale.

F. — *Tension artérielle.*

L'augmentation de la tension artérielle sous l'influence de l'air comprimé a été admise sur la foi des tracés sphygmographiques de Vivenot (p. 443-444); mais aucune expérience directe n'avait été faite, ou plutôt réussie, dans le but de constater, par le manomètre, le sens et la valeur de la modification.

J'ai essayé de combler cette lacune par les expériences suivantes :

Expérience CCCXXXV. — 17 février. Chien de moyenne taille, neuf, attaché sur la gouttière.

Le kymographion de Ludwig, fixé dans une artère fémorale, donne le tracé de la figure 69, dans lequel les minima sont à 5c,5 au-dessus de la

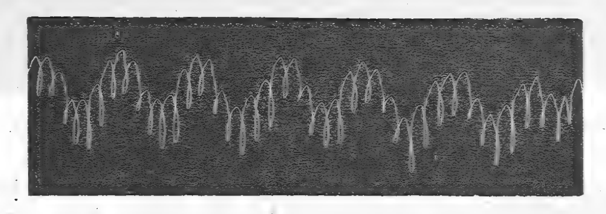


Fig. 69. — Tension du sang dans la fémorale. Pression normale.

ligne du zéro, ce qui indique une pression de 11c, et les maxima à 6c,7, d'où une pression de 13c,4, soit pour la valeur de l'oscillation respiratoire 2c,4, et pour la pression moyenne 12c,2.

L'animal est ensuite placé dans l'appareil à compression, où l'on at-

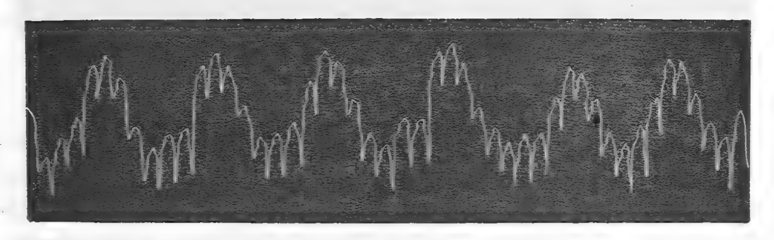


Fig. 70. — Tension du sang dans la fémorale. Air comprimé.

teint en 45m la pression de 55c. On obtient alors, avec la même artère, le

tracé de la figure 70 : pression minima 12c ; maxima 15c,6 ; moyenne 13c,8 ; valeur de l'oscillation 3c,6.

Le nombre des pulsations est descendu environ de 216 à 200, et celui des respirations de 41 à 29 par minute.

Expérience CCCXXXVI. — 23 février. Chien de forte taille, neuf, vigou-

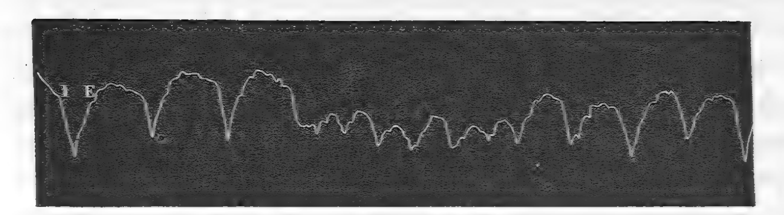


Fig. 71. — Tension du sang dans l'artère carotide. Pression normale.

reux, sous la peau duquel on a injecté, pour calmer son agitation incessante, 10cg de chlorhydrate de morphine. Il dort tout le temps de l'expérience.

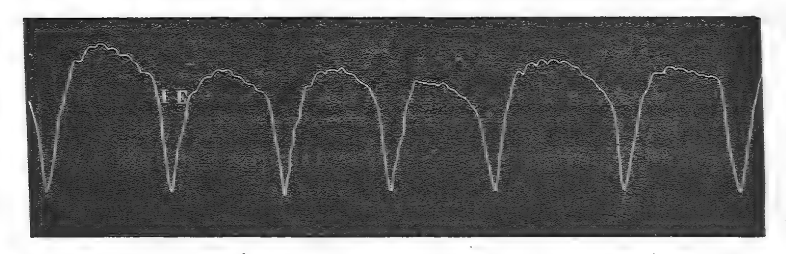


Fig. 72. — Tension du sang dans l'artère carotide. Air comprimé.

A la pression normale, on obtient, par une artère carotide, le tracé de la figure 71.

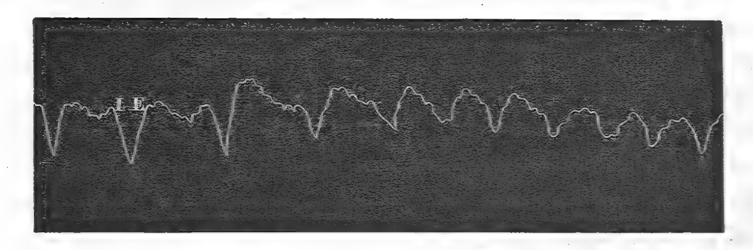


Fig. 73. — Tension du sang dans l'artère carotide. Pression normale.

Les portes fermées, et la pression portée en trois quarts d'heure à 53c, on recueille le tracé de la figure 72.

Enfin, lors du retour à la pression normale, retour qui s'exécute en 5m, on a le tracé de la figure 73.

L'expérience se résume comme il suit :

	Pression minima.	Pression maxima.	Pression moyenne.	Oscillations respiratoires.	Nombre des respir.
Tracé A	5c,2	7c,2	5c,8	de 3 à 10mm	48
— B	8c,8	13c,4	10c,4	16 à 23mm	28
— C	8c,0	11c,0	9c,8	3 à 14mm	40

Maintenant se pose la question de savoir quelle est la raison de ces modifications dans les phénomènes circulatoires. Faut-il les attribuer à l'action du sang suroxygéné sur le cœur, sur le système nerveux qui commande à cet organe et aux mouvements de la respiration? Sont-elles, au contraire, la conséquence de la diminution de volume des intestins, réagissant sur le jeu des organes intra-thoraciques?

On pourrait, sur ce point disserter longuement. Le plus sûr est d'expérimenter. Or, si l'on prend les tracés cardiaques d'un chien qui tantôt respire de l'air ordinaire, tantôt de l'air chargé d'oxygène à 35 p. 100 environ, ce qui correspond à peu près à la tension obtenue dans nos appareils à compression, on trouve que, malgré un certain ralentissement des mouvements respiratoires, lorsque l'animal respire l'air suroxygéné, la pression artérielle n'est point modifiée, et que le jeu du thorax l'influence également dans les deux cas.

Il devient donc évident, par la comparaison de ces résultats, que :

1° La pression du sang (maxima, minima, moyenne) a augmenté dans l'air comprimé;

2° L'oscillation due à l'influence respiratoire a notablement augmenté dans l'air comprimé, ce qui est contraire aux conclusions de Vivenot (p. 449), conclusions basées, du reste, sur des observations faites chez des emphysémateux;

3° Ces variations ont été concomitantes à un ralentissement de la respiration;

4° Elles sont dues non à l'action de l'oxygène absorbé en plus grande quantité par le sang, mais à la pression, en tant qu'agent d'ordre mécanique.

§ 2. — Séjour prolongé dans l'air comprimé.

Dans ce second paragraphe vont être énumérées des expériences qui ont eu pour but de chercher si une augmentation légère dans la tension de l'oxygène peut agir favorablement ou défavorablement sur la vie des animaux, sur leur développement, en un mot sur l'ensemble des phénomènes de leur existence, et cela en dehors de toute analyse physiologique. Pour étudier cette question capitale, j'ai mis en expérience tantôt des œufs, tantôt des cocons, tantôt de petits animaux aériens ou aquatiques; j'ai employé parfois l'air comprimé, mais plus souvent, à cause de la facilité à disposer les expériences, de l'air dont la richesse en oxygène avait été augmentée.

Arrivons aux expériences :

Expérience CCCXXXVII. — 31 juillet. Mis dans deux grands ballons, un certain nombre de *chrysalides de mouches* du même âge,

A, le ballon est plein d'air.

B, le ballon est plein d'oxygène.

9 *août.* — 6 éclosions de mouches à A, rien à B.

10 *août.* — Tout éclos à A, presque tout à B.

Expérience CCCXXXVIII. — 23 juin. *Cocons de vers à soie,* du même jour (cette expérience a été faite en même temps que celle de la page 813).

A, 12 sont placés sous une cloche ouverte.

B, 12 dans un flacon de 3 litres, à la pression de 2 atmosphères.

C, 6 dans un récipient à eau de Seltz de un litre, à 5 atmosphères d'air.

On change tous les deux jours l'air de B et C.

8 *juillet.* A, tout éclos.

B, toutes les chrysalides sont très vives ; 2 sont transformées mais restées dans leurs cocons.

C, les chrysalides sont immobiles ; mais en enlevant la peau à quelques-unes, on trouve le papillon presque complet, qui a quelques actions réflexes.

Je mets B et C à l'air libre.

15 *juillet.* B, un papillon sorti du cocon et vivant; quelques autres transformés, mais restés dans le cocon, et morts ; sous la peau des chrysalides restantes, on trouve le papillon prêt à sortir, mais mort.

C, toutes les chrysalides sont mortes, sans avoir repris de mouvements à l'air libre ; sous la peau de la chrysalide, les papillons ont des poils, mais sont peu avancés.

Expérience CCCXXXIX. — 15 avril. *Œufs de grenouille* un peu bilobés déjà, placés en nombres égaux dans quantité semblable d'eau ; de plus 5 têtards éclos depuis 4 jours.

A et A′, sous cloches fermées, air ordinaire.

B et B′, sous cloches pleines d'oxygène à 95 pour 100, récemment préparé par le chlorate de potasse, bien lavé sur la potasse et ayant séjourné deux heures sur de l'eau pure.

Ces 4 cloches étant renversées sur des assiettes pleines d'eau, je mets dans l'eau extérieure aux cloches quelques têtards qui devront servir de témoins.

25 *avril.* A et A′, tous éclos et très-vifs.

B et B′, tous morts, après que les œufs se sont développés presque jusqu'à éclore.

Les témoins sont bien vivants.

Expérience CCCXL. — 28 avril. *Têtards de grenouille* éclos depuis 8 ou 10 jours en nombre égal :

A, A′, cloches renversées sur eau, pleines d'air ordinaire.

B, B′, cloches disposées de même, pleines d'oxygène bien lavé, à 95 pour 100.

Témoins hors des cloches comme à l'expérience précédente.

1er *mai.* Tous vivants.

3 *mai.* Les témoins et les têtards de A et A′ sont vivants; ceux de B et B′ sont tous morts.

Expérience CCCXLI. — 8 mai. *Têtards :* expérience disposée comme les deux précédentes, avec le même oxygène conservé sur eau bien propre.

Dès le 10, il y a deux têtards morts dans l'oxygène.

11 *mai*, tous sont morts dans l'oxygène, et vivants dans l'air.

Expérience CCCXLII. — 26 avril. *Œufs de grenouille* non encore bilobés. En nombre égal, dans même quantité d'eau, sous cloches fermées.

A dans air ordinaire.

B dans air contenant 24 p. 100 d'oxygène.

C — 28 —

D — 51 —

E devait contenir au moins 80 p. 100 d'oxygène; mais l'analyse n'a pu être faite par suite d'un accident.

4 *mai.* A, grand nombre de têtards éclos.

B, presque autant qu'à A.

C, beaucoup moins.

D, 5 ou 6 seulement.

E, 2 seulement.

Plus tard (la cloche E ayant été renversée), le développement s'égalise.

21 *mai*, tous les têtards sont partout bien portants et semblables.

Expérience CCCXLIII. 28 mai. — *Têtards* de grenouille ; eau.

A, dans flacon plein d'oxygène probablement à 90 p. 100.

D, dans appareil en verre à 5 atmosphères d'air ordinaire.

Les têtards de B meurent le 30 mai.

Ceux de A, le 31.

Expérience CCCXLIV. — 2 juin. Petites *anguilles* de la montée; placées 3 par 3.

A, sous cloche pleine d'air.

B, — d'oxygène à plus de 90 p. 100.

C, dans l'appareil en verre, à 5 atmosphères d'air ordinaire.

4 juin. A, tout vivant.

B, 1 morte, 2 fort malades.

C, 2 mortes, la 3e fort malade.

Expérience CCCXLV. — 7 avril. *Œufs de grenouille* en quantités à peu près égales, dans eau.

A, sous cloche pleine d'air,

B, — d'air à environ 55 p. 100 d'oxygène.

C, — d'air à environ 65 p. 100 d'oxygène.

D, — d'oxygène pur 90 à 95 p. 100.

10 *avril.* Les jeunes têtards remuent en A et en B; quelques-uns sont libres en A.

20 *avril.* Tout est mort en C et en D ; les têtards vivent et sont libres en A et B.

1er *mai.* Id.

4 *mai.* Comme on n'a pas changé l'air ni l'eau, il commence à y avoir un peu de putréfaction des œufs à A et à B; cependant les têtards vivent encore.

10 *mai.* Tout mort ; odeur infecte à A; un peu moindre à B ; pas d'odeur de putréfaction, mais une sorte d'odeur de marée à C et à D.

Expérience CCCXLVI. — 13 avril. *Têtards.*

A, air libre.

B, 5 atmosphères d'air.

20 *avril.* Tout vivant.

1er *mai.* A, vivants ; B, morts.

Expérience CCCXLVII. — 26 juin. *Cyprins* et *larves de chironomus*, en grand nombre, dans eau avec conferves.

A, sous cloche pleine d'air.

B, — d'oxygène à 85 p. 100.

5 *juillet.* Les animaux de B sont moins vifs que ceux de A ; les conferves ont l'air malades.

11 *juillet.* Tout, conferves, cyprins, larves, est mort à B ; tout, au contraire, est parfaitement vivant à A, dont l'air contient encore tout son oxygène.

Expérience CCCXLVIII. — 4 octobre. *Larves de cousins*, en grand nombre, dans eau.

A, sous cloche pleine d'air ordinaire.
B, — d'air à 52 p. 100 d'oxygène.
C, — 62 — —
D, — 89 — —

8 *novembre*. Toutes les larves sont vivantes sous les diverses cloches; en A il s'en est transformé un grand nombre, aucune en B, C et D.

Les expériences qui viennent d'être rapportées ont été faites, on l'a vu, sur des vertébrés (poissons, têtards et œufs de grenouille) et sur des invertébrés (chrysalides, larves d'insectes aquatiques, petits crustacés aquatiques); elles ont donné des résultats semblables, ce qui permet, je pense, de généraliser les conséquences qu'on en peut déduire.

Or, elles me semblent prouver d'abord que la compression à 4 ou 5 atmosphères, ou, pour parler avec plus de précision, l'oxygène à la tension de 80 et au-dessus, a une action funeste sur les animaux, action qui se manifeste en quelques jours sur les animaux à sang froid, et qui donnerait sans doute beaucoup plus rapidement des résultats funestes sur des animaux à sang chaud.

La seconde conclusion qu'on en peut tirer, c'est que l'augmentation de la tension de l'oxygène au-dessus de sa valeur normale dans l'air ordinaire n'a paru présenter aucun avantage, tant s'en faut. Quand il se manifeste quelque différence, elle est en faveur de l'air normal : la vie s'y conserve plus longtemps; le développement des têtards ou des larves d'insectes s'y fait plus vite.

Il paraît donc démontré que, pour des animaux sains, la pression atmosphérique ordinaire réalise la meilleure condition de vie, et qu'une augmentation, pour peu qu'elle soit notable, est plus à craindre qu'à souhaiter.

CHAPITRE V

INFLUENCE DES MODIFICATIONS DE LA PRESSION BAROMÉTRIQUE SUR LES VÉGÉTAUX.

Il était impossible de ne pas se poser la question de savoir si la pression barométrique a quelque action directe ou indirecte sur les phénomènes de la végétation.

Tout le monde sait que, au fur et à mesure qu'on s'élève sur les montagnes, la végétation se modifie. Certaines espèces disparaissent, d'autres se montrent qui ne vivent point dans la plaine. A de grandes hauteurs, la végétation devient misérable, pour disparaître enfin.

Ces changements dans la flore ont été étudiés avec soin par des botanistes qui ont reconnu que non-seulement l'altitude, mais la latitude, agissent pour déterminer cette distribution géographique d'un nouveau genre. Les zones habitées par certaines espèces ou certains groupes varient de hauteur suivant la distance plus ou moins grande de l'équateur où se trouve la montagne considérée.

Ces faits rapprochés de cet autre que, au fur et à mesure de l'élévation la température diminue, et de cet autre encore, que certaines plantes des flores dites *alpines* se retrouvent au niveau de la mer dans les régions froides, ont amené les botanistes à penser que l'influence de l'altitude n'est autre chose que l'influence de la température ; si bien que celle-ci seule

est invoquée par les auteurs classiques, comme cause déterminante des caractères de la flore des hauts lieux.

Rien ne prouve cependant que la dépression en elle-même ne soit pour quelque chose dans ces différences; rien ne prouve que des plantes de plaine vivraient très-volontiers sous une très-faible pression barométrique, alors qu'elles y trouveraient même une température analogue à celle dont elles ont besoin. Pour les plantes, en effet, à la respiration de l'oxygène se joint l'absorption diurne de l'acide carbonique, et l'action de la pression sur ces substances gazeuses peut n'être pas à négliger.

D'autre part, lorsqu'on interroge les profondeurs des mers, on voit que la vie végétale s'éteint à des distances qui ne sont pas très-considérables, et qu'aux différents niveaux correspondent différents groupes d'algues. Ici, ce n'est plus à la chaleur, mais à la lumière que l'on attribue d'ordinaire les modifications dans la distribution bathymétrique. Le problème se complique encore de la richesse plus ou moins grande des eaux profondes en oxygène et en acide carbonique libre. Mais à côté de ces conditions d'ordinaire invoquées, il ne faudrait point oublier la pression elle-même, qui peut-être intervient.

On sent que ces questions sont insolubles par l'observation directe, et appellent le secours de l'expérimentation. Mais celle-ci, on le comprend aussi, est extrêmement difficile à mettre en action. Les végétaux ne traduisent pas, comme les animaux, par des signes immédiats, l'état fâcheux dans lequel les placent des conditions nouvelles. Il faut les maintenir longtemps dans ces conditions pour obtenir quelques résultats. De plus, ils ont besoin pour vivre de la lumière. Or, les appareils en verre capables de supporter la diminution de pression, sont difficiles et coûteux à installer. C'est bien autre chose encore lorsqu'il s'agit d'augmenter la pression : ici, l'exiguïté des dimensions, l'épaisseur des verres, la présence des pièces de fonte et des grillages protecteurs, rendent les expériences presque impossibles à faire dans de bonnes conditions.

Il est cependant un phénomène végétatif qui, se passant dans l'obscurité et demandant peu de place, est facile à mettre en expériences sous les diverses pressions : c'est la germination. C'est aussi sur elles presque exclusivement qu'ont porté mes essais.

Pour la végétation proprement dite, je me suis souvent servi des sensitives. Cette plante précieuse a été ainsi utilisée comme un réactif, comme une sorte de végétal à sang chaud, ainsi que je l'ai autrefois appelée[1].

Dans mes recherches bibliographiques, faites postérieurement à la terminaison de mes expériences et au moment où je commençais à rédiger le présent volume, j'ai trouvé qu'un expérimentateur ancien[2] s'était déjà autrefois occupé de cette question, et je reproduis ici le récit de la tentative qu'il fit pour la résoudre :

Pour étudier l'influence des différentes pressions de l'air, sur la végétation, ou pour mieux dire sur la grandeur et la forme des plantes, j'ai fait germer en même temps de l'orge dans de l'air raréfié de moitié, dans lequel l'éprouvette barométrique se soutenait à quatorze pouces ; et dans l'air condensé au double de l'état ordinaire, c'est-à-dire sous une pression de $2 \times 28 = 56$ pouces de mercure. Dans l'une et l'autre expérience les grains étaient semés dans du terreau de bruyère et également humectés. Chacune des deux cloches dans lesquelles le procédé de germination s'opérait contenait environ 320 pouces cubes d'air, et par conséquent la première $\frac{320}{2} = 160$ pouces cubes d'air atmosphérique ; et dans la dernière, $320 \times 2 = 640$ pouces cubes du même fluide.

La germination de l'orge eut lieu presqu'en même temps sous les deux récipients, et les folioles naissantes montrèrent à peu près la même teinte de vert ; mais, au bout de quinze jours, on vit dans les deux cloches les différences suivantes :

Les pousses avaient atteint dans l'air raréfié la hauteur de 6 pouces, et celle de 9 à 10 dans l'air condensé. Les premières étaient déployées et molles ; les dernières étaient roulées autour de la tige et solides. Enfin, les premières étaient humectées à la surface, et surtout vers la pointe, de gouttes d'eau, dont deux étaient toujours vis-à-vis l'une de l'autre, et les dernières étaient au contraire presque sèches, surtout à la surface. Cette

[1] P. Bert. Sur les mouvements de la sensitive, 2e mémoire. *Soc. des sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, t. VIII, p. 1-58, 1870.

[2] Döbereiner, *Expériences sur la germination dans l'air condensé ou raréfié.* — Biblioth. univ. de Genève, t. XXII, p. 121, 1823.

différence me surprit, ainsi que mes auditeurs; je serais disposé à croire que la diminution de la stature des plantes, à mesure qu'on s'élève dans les montagnes, dépend plutôt de la diminution de pression que de la chaleur.

On voit qu'on ne peut en réalité rien conclure de cette tentative, puisque le point de comparaison, le témoin, la germination sous la pression normale, avait été oublié : dérogation malheureusement trop fréquente chez les naturalistes aux règles de la méthode expérimentale.

SOUS-CHAPITRE PREMIER

PRESSIONS INFÉRIEURES A CELLE D'UNE ATMOSPHÈRE.

§ 1er. — **Germination.**

Commençons par des expériences faites sous des pressions inférieures à celle de l'atmosphère, et, d'abord, par les expériences sur la germination :

Expérience CCCXLIX. — 21 mai. Blé. — Semé sur terre humide, en nombre à peu près égal de graines et recouvert de cloches.

A. Cloche de $2^l,2$. Laissé à la pression normale.
B. — $7^l,1$. Amené à 50^c de pression.
C. — 11^l. Amené à 25^c de pression.

11 *mai*. — A : Les brins ont environ 20^c; ils sont très-beaux, très-verts, très-nombreux.

B. Les brins ne dépassent pas 15^c; ils sont beaucoup moins nombreux mais assez verts et dressés, quoique d'aspect malade.

C. Pas plus de 10^c; brins rares, jaunes, retombant.

27 *mai*. — A : Tout levé et pousse vert et dru.
B : Germination beaucoup moins avancée.
C : Beaucoup moins encore.

A plusieurs reprises, pendant la durée de l'expérience, il y a eu fuite et on a dû ramener le vide; l'air a donc été suffisamment renouvelé.

La terre était très-arrosée, et l'air saturé d'humidité.

Expérience CCCL. 17 juin. — Orge.

Semé dans des terrines pleines de terre, en nombre de graines semblable, et placé immédiatement :

A. Sous cloche de $2^{l},2$. Laissé à la pression normale.
B. — $7^{l},1$. Amené à 50^{c} de pression.
C. — 11^{l}. Amené à 25^{c} de pression.
20 *juin*. — Commencent à pousser partout.
21 — Déjà différence évidente.
22 — A : Les brins nombreux, très-verts et très-roides mesurent environ 10^{c}.
B. Moins nombreux, moins verts; environ 8^{c}.
C. Encore moins; environ 6^{c}.
23 *juin*. — Je coupe tous les brins au niveau du grain d'orge; il y en a 76 à A, 36 à B, 25 à C. Je mets ces brins à l'étuve et les fais dessécher à 100 degrés pendant 2 jours.
Après ce temps, chaque brin de A pèse $8^{mg},8$; chaque brin de B $7^{mg},1$; chaque brin de C $6^{mg},2$.

Expérience CCCLI. — 11 juin. — Orge et cresson sur terre mouillée.
A. Pression normale. Cloche de 1 litre.
B. Air à 12^{c} de pression. — 6 litres.
C. — 8^{c} — — 8 litres.
On renouvelle l'air tous les jours.
16 *juin*. — Les pousses de A sont très-belles et vigoureuses; rien à B ni à C.
20 *juin*. — B : Quelques radicelles et des moisissures blacches ; C seulement des moisissures. Je ramène B et C à la pression normale; les grains germent avec un retard dans les premiers jours pour celles de C.

Je crois inutile de rapporter un plus grand nombre d'expériences ; chacune de celles qui précèdent est, en réalité, multiple, à cause de la quantité de graines qui ont été semées ensemble. Les expériences suivantes en corroborent les résultats qui sont du reste, suffisamment nets.

Ils permettent de conclure, à n'en pas douter, que la germination se fait avec d'autant moins d'énergie et de rapidité que la pression est plus faible. J'appelle spécialement l'attention sur les résultats de l'expérience CCCL, auxquels le système des pesées a donné une précision particulière. Ils montrent que, à la pression normale, chacun des brins d'orge poussés pesait plus de 8 milligrammes, tandis qu'à 50^{c} de pression ils n'en pesaient que 7, et à 25^{c} que 6.

De plus, il germe un nombre beaucoup moins grand de grains sous basse pression qu'à la pression normale. Il est assez difficile de comprendre la raison de cette inégalité, qui

s'est montrée manifestement à chaque expérience; dans la même expérience CCCL, où les brins ont été comptés, on en a trouvé 76 à la pression normale, 36 à 50^{c}, et 25 seulement à 25^{c}.

Il est donc d'ores et déjà bien évident que la germination doit se faire moins rapidement et moins sûrement, pour les graines analogues à l'orge, sur les grandes hauteurs que dans la plaine, étant supposées égales toutes les conditions d'humidité, de température et d'état électrique de l'atmosphère.

Ici se pose maintenant la question que nous avons eu à résoudre en parlant des animaux. Est-ce à la dépression, en tant que condition physique, qu'est due la lenteur, puis l'arrêt de la germination, ou bien faut-il attribuer ces phénomènes à la moindre tension de l'oxygène de l'air? Tout ce que j'ai dit jusqu'ici m'autorisait à affirmer l'exactitude de cette dernière hypothèse. J'ai voulu cependant la soumettre encore à un double contrôle expérimental, dans lequel, il est vrai, je me suis contenté d'un petit nombre d'expériences.

Il y a, en effet, comme nous l'avons vu, deux méthodes à employer. Nous pouvons étudier des germinations faites sous la pression barométrique normale, mais dans des milieux peu riches en oxygène. Il est évident que si, dans ce cas, nous voyons que la germination se fait plus vite dans l'air que dans un milieu moins oxygéné c'est la pauvreté en oxygène qu'il faudra accuser.

Nous pouvons encore comparer avec des germinations faites dans l'air, à la pression normale, d'autres germinations faites à de fortes dépressions, mais dans des milieux suroxygénés, en telle sorte que la tension réelle de l'oxygène soit à peu près égale à celle que présente l'air dans les conditions barométriques ordinaires.

Voici d'abord une expérience faite suivant la première de ces méthodes :

Expérience CCCLII. — 12 juillet. — Orge semé sur papier à filtre mouillé ; 20 grains dans chaque assiette.

A. Cloche de 13^{l} ; laissé à l'air sous la pression normale.

B. — 20^{l} ; je fais le vide, et laisse rentrer un air très-appauvri en

oxygène par l'inflammation du phosphore. Le mélange contient ainsi 10 pour 100 d'oxygène.

On remarquera que la capacité des cloches varie en sens inverse de la quantité d'oxygène.

16 *juillet*. — Les pousses dans A sont plus fortes que dans B.

18 *juillet*. — Les pousses dans A (air) sont de 12^c en moyenne; celles dans B (azote) de 10^c.

22 *juillet*. — A en moyenne 21^c ; B en moyenne 19^c.

Cette expérience montre bien nettement que, dans l'air pauvre en oxygène, malgré que la quantité totale en soit bien suffisante, la germination se fait moins vite que dans l'air ordinaire.

Je n'ai pas cru devoir insister sur cet ordre d'expériences, parce que les anciennes recherches de Senebier, de Saussure, de Lefébure, etc., bien que manquant de précision au point de vue de l'analyse chimique du milieu aérien, déposent nettement dans le même sens.

Voici maintenant des expériences faites par la deuxième méthode :

EXPÉRIENCES CCCLIII. — 9 octobre 1872. — Orge et cresson, semés sur papier mouillé.

A. Air à la pression normale.

B. Air à 16^c de pression.

C. On fait le vide, puis on laisse rentrer de l'oxygène, jusqu'au rétablissement de la pression normale; la même opération est alors recommencée; enfin on ramène cette atmosphère suroxygénée (dont malheureusement on a perdu l'échantillon destiné à l'analyse) à la pression de 16^c.

12 *octobre*, quelques graines commencent à germer en A.

Le 14, la germination commence à C.

Le 16, les pousses sont un peu plus belles en A qu'en C.

Le 19, quelques germes apparaissent en B; A est toujours un peu en avance sur C.

23 *octobre*, en A, l'orge a 8^c, le cresson 5^c ; en C, l'orge a 7^c, le cresson 5^c, mais ses germes sont un peu moins beaux qu'en A; B n'a qu'une pousse d'orge de 6^c au plus, et le cresson n'a que 1^c,5.

EXPÉRIENCE CCCLIV. — 4 novembre. — Semis d'orge et de cresson sur papier mouillé (une vingtaine de graines).

A. Air à la pression normale,

B. Air à 15^c de pression.

C. Oxygène à 71 pour 100, ramené à 20^c de pression, ce qui correspond à 18 pour 100 sous la pression normale.

7 novembre, quelques germes apparaissent à A.

Le 8, quelques-uns à C.

Le 11, commencement de germination à B.

25 *novembre*, l'état est le suivant :

A. Les graines sont toutes poussées, les germes sont très-verts ; le cresson a environ 2^c, l'orge 12^c.

B. Est remonté à 25^c de pression : Cresson plus long, mais moins vert qu'à A. 3 grains d'orge seulement, aussi longs, mais plus minces et moins verts qu'à A.

C. Est remonté à 40^c (par conséquent est moins oxygéné). Les pousses, fort nombreuses et fort belles, ressemblent tout à fait à A.

Ces expériences amènent aux mêmes conclusions que les précédentes. On voit, en effet, que les grains semés dans des atmosphères très-oxygénées ont poussé aussi vite que dans l'air à la pression normale, malgré la basse pression barométrique à laquelle ils étaient soumis. Celle-ci n'a donc nulle influence, lorsque la proportion centésimale de l'oxygène est suffisante pour que la tension réelle de ce gaz se maintienne à une valeur voisine de celle qu'il a dans l'air ordinaire et à 76^c.

Il est donc bien établi que le ralentissement de la germination, constaté dans toutes les expériences qui précèdent, lorsque la pression barométrique est très-faible, est dû à la faible tension de l'oxygène. Les graines ne respirent pas suffisamment, malgré qu'elles aient à leur disposition de très-grandes quantités d'oxygène en poids. Comme pour les globules sanguins, l'absorption de l'oxygène par les cellules végétales est en rapport avec la tension extérieure de ce gaz.

Il était intéressant de chercher à quelle limite inférieure de pression se peut faire la germination. Les expériences qui précèdent montrent déjà qu'elle évolue encore, bien que fort lentement, à la pression de 15^c, pression beaucoup plus faible que celle de l'atmosphère au sommet de la plus élevée des montagnes, le mont Everest dans l'Himalaya.

Les expériences suivantes répondent à cette question :

Expérience CCCLV. — 14 décembre. Orge (une douzaine de graines) et cresson sur papier mouillé. Cloches de 1^l,5.

A. Air : pression normale.

B. Air : 6[c] de pression : la tension de l'oxygène correspond à 76 : 6 = 21 : $x = 1,6$ pour 100 à la pression normale.

17 *décembre.* — A. Quelques graines de cresson ont fendu leurs enveloppes.

20 *décembre.* — A. Toutes les graines de cresson ont fendu leurs enveloppes; quelques graines d'orge ont poussé leurs radicules.

B. 7[c] de pression; rien n'a apparu.

14 *janvier.* — A. Les graines de cresson ont germé; les pousses d'orge atteignent 12[c].

B. Deux grains d'orge ont poussé; ils atteignent 6[c].

Les graines de B, ayant été ramenées à la pression normale, poussent toutes, cresson et orge.

Expérience CCCLVI. — 11 mars. — Je sème sur papier à filtre mouillé, 40 grains d'orge et du cresson.

A. A la pression normale.

B. Dans une cloche de 7[l], amenée à 4[c] de pression.

28 *mars* : A. Tout poussé; l'orge à des pousses de 4, 5 et 6[c]; B, dont on a change l'air, le 15, le 18, le 23 et le 26, ne présente aucune trace de germination. On le remonte à 8[c].

26 *avril.* — On a changé l'air de B le 31 mars, le 6, le 8, le 11 avril; rien n'y est apparu, sinon des moisissures.

On sème à l'air sur papier mouillé.

20 *mai.* — Belles pousses de cresson, mais l'orge n'a pas poussé.

C'est donc aux environs de 7[c] de pression que la germination ne peut plus se faire. Il est curieux de voir que cette dépression est précisément celle à laquelle succombent rapidement, quelques précautions qu'on prenne, les animaux à sang chaud (voy. p. 735), et ne peuvent vivre longtemps les vertébrés à sang froid.

Si l'on cherche la valeur centésimale d'oxygène à laquelle correspond, à la pression normale, la tension de l'oxygène sous cette pression de 7[c], on la trouve à l'aide de la proportion suivante 20,9 : 7 = 76 : $x = 2,5$. Ceci se rapproche beaucoup des expériences de Lefébure qui a montré que la germination de la Rave se fait encore, bien que lentement et incomplétement quand l'air ne contient plus que $\frac{1}{32}$ d'oxygène, soient 3,4 pour 100.

§ 2. — Végétation.

J'ai fait en outre quelques tentatives pour voir si je pourrais obtenir quelque action sur la végétation proprement dite :

Expérience CCCLVII. — 15 juin. Orge.

Je sème des grains d'orge, en même quantité, dans trois terrines semblables, pleines de terre ; je laisse le tout sous des conditions égales.

25 *juin*, les trois semis ont bien poussé, mais un peu inégalement ; à l'un, les brins mesurent en moyenne 14c ; à l'autre, 15 ; au troisième, 16 à 17.

Je les place sous 3 cloches :

A. Le semis le moins beau ; laissé à la pression normale.

B. L'intermédiaire ; amené à 50c de pression.

C. Le mieux allant ; amené à 25c.

27 *juin*. Les trois semis ont conservé leurs différences primitives.

3 *juillet*. Même résultat.

Expérience CCCLVIII. 24 juillet. Sensitives d'un même semis ; une dans chaque pot, ayant environ 10c de hauteur.

A. Je mets 4 pots sous cloche de 3l,5 à la pression normale.

B. 4 pots sous cloche 7l,1 ; amené à 50c de pression.

C. — 11l 25c.

Toutes reposent sur des assiettes pleines de terre bien mouillée, et sont placées à un éclairage suffisant.

On a diminué la pression avec précaution ; les folioles se sont fermées aux environs de 20c de diminution, pour se rouvrir ensuite.

Dès le soir, C ferme ses folioles beaucoup plus tard que les deux autres.

25 *juillet*. Il y a eu rentrée d'air à C ; la pression est de 40c environ. On ramène à 25c. Un certain nombre de folioles et même quelques feuilles tombent déjà ; une ou deux sensitives paraissent mortes.

B. Un peu malades.

A. Vont très-bien.

26 *juillet*. — C. La pression est remontée à 45c environ ; cependant, toutes les sensitives sont mortes.

B. Toutes malades, quelques-unes mortes.

A. Vont très-bien ; grandissent.

27 *juillet*. — B. Toutes mortes.

A. Vont très-bien.

Expérience CCCLIX. — 1er août. Sensitives semblables à celles de l'expérience précédente. Deux dans chaque cloche.

A. Amené à 60c de pression.

B. — 50c —

C. — 25c —

3 *août*. Quelques folioles et feuilles tombent à C.

6 *août*. — 3 heures. — A. Folioles sensibles et ouvertes ; B. Demi-fermées ou peu sensibles ; C. Complétement fermées.

7 *août*. Ramené à la pression normale.

Tout est sensible ; C. Beaucoup moins que les autres ; C. ne ferme pas bien le soir.

9 *août*. — A. Va bien ; très-sensible ; B. Peu sensible ; malade ; jaunâtre ; C. Feuilles tombent ; mourante.

Il est donc bien certain que, sous l'influence de faibles pressions barométriques, les sensitives deviennent rapidement insensibles et meurent. Il reste à savoir quelle est la cause de cette mort. Faut-il l'attribuer, comme nous sommes, pour ainsi dire, habitués à le faire jusqu'ici, à la faible pression d'oxygène? doit-on simplement accuser la dilatation des gaz que contient la plante, dilatation due à la dépression et qui suffirait pour impressioner d'une manière funeste une plante aussi délicate?

L'expérience suivante répond à cette question :

Expérience CCCLX. — 25 juillet. Deux pots contenant chacun 3 jeunes sensitives.

A. Amené à 25^{c} de pression.

B. Je diminue la pression de 50^{c}, et laisse rentrer de l'oxygène, puis ramène la pression à 25^{c}. La tension de l'oxygène dans cette cloche correspond à peu près à celle de l'air, à la pression normale.

26 *juillet*. — A. Sont malades.

27 *juillet*. — A. Sont mortes ; B. Bien portantes.

C'est donc ici encore la tension trop faible de l'oxygène qui a tué les sensitives soumises à une basse pression.

Voici enfin une expérience qui, pour avoir été faite sur un végétal presque microscopique, n'en a pas moins son intérêt :

Expérience CCCLXI. — 8 avril. Débris d'œufs de grenouille, avec un peu de matière verte de Priestley.

A. Flacon à la pression normale.

B. Flacon à 25^{c} de pression.

25 *avril*. Matière verte abondante en A ; rien en B.

Ainsi la diminution de pression s'oppose à la végétation comme à la germination ; elle tue les végétaux au même degré

où elle tue les animaux à sang froid, où elle suspend complétement la vie des graines, sans la tuer cependant.

L'unité des phénomènes de la respiration dans les deux règnes s'accentue ici de la manière la plus nette.

SOUS-CHAPITRE II

PRESSIONS SUPÉRIEURES A CELLE D'UNE ATMOSPHÈRE.

§ 1er. — **Germination.**

Passons maintenant aux expériences faites sous augmentation de pression; et d'abord, la germination. J'ai toujours fait mes semis sur du papier humide, des expériences préalables m'ayant montré que la présence de la terre complique les résultats :

Expérience CCCLXII. — 7 juillet. Semis d'orge sur papier à filtre mouillé.

A. Récipient de 1 litre, poussé à 1 atmosphère 3/4.

B. Récipient semblable; pression normale; bien bouché.

9 *juillet.* — B. Commence à pousser; A. Rien.

10 *juillet.* — B. Les brins ont environ 2c; ils commencent à paraître en A.

On a renouvelé l'air tous les jours.

13 *juillet.* — B. Brins de 12c environ; A. N'ont que 8 à 10c.

Cessé l'expérience.

Expérience CCCLXIII. — 13 juillet. Semis d'orge sur papier à filtre mouillé. 20 grains dans chaque semis.

A. Récipient cylindrique de 650cc, poussé à 5 atmosphères. On change l'air tous les jours.

B. Éprouvette de même dimension à peu près; laissée à la pression normale; bien bouchée.

16 *juillet.* La germination commence à B.

18 *juillet.* — Dans B, les pousses ont environ 7c; la germination commence à A.

20 *juillet.* — B. 13c; A. 3 à 5c.

26 *juillet.* — B. 18c; A. 3 à 5c.

Je décomprime, retire avec soin les divers grains et les place sur de la terre humide.

A. Grandit rapidement et rattrape à peu près B.

Expérience CCCLXIV. — 31 juillet. Semis d'orge sur papier mouillé.

A. Récipient cylindrique poussé à 10 atmosphères.

B. Éprouvette de même volume ; pression normale ; bien bouchée.

3 *août*. La germination commence à B.

Je décomprime A ; mais en rechargeant, je ne puis dépasser 7 atmosphères.

5 *août*. Les brins à B ont 5 à 6c ; à A, on ne voit que quelques radicules sorties.

7 *août*. 13c à B ; à A, seulement quelques radicules.

Je cesse l'expérience ; l'air de A analysé ne contient pas d'acide carbonique.

A. Semé sur papier mouillé ; n'a pas commencé à germer le 10 août.

Expérience CCCLXV. — 1er mars. Semis de 30 grains d'orge.

A. Dans le réservoir cylindrique, air ordinaire, 2 3/4 atmosphères de pression.

B. Éprouvette fermée ; pression normale.

4 *mars*. On change l'air.

8 *mars*. Pousses plus vertes et plus longues à B qu'à A. On change l'air.

10 *mars*. — A. 9 grains sans germe ; 11 avec seulement des radicules ; 10 avec pousses pâles de 2c.

B. 11 grains sans germe ; 5 avec radicules seulement ; 11 ayant de belles pousses vertes de 4c.

Expérience CCCLXVI. — 30 mars. Semis de 20 grains d'orge sur une même quantité de papier mouillé avec 10c d'eau.

A. Petit récipient du gazogène ; 2 atmosphères d'air changé tous les jours, quelquefois deux fois par jour.

B. Récipient semblable, bouché à la pression normale.

3 *avril*. Radicules apparaissant aux deux.

7 *avril*. — A. Est un peu en retard, par rapport à B.

Expérience CCCLXVII. — 16 avril. Semis de 20 grains d'orge. Même quantité de papier et d'eau.

A. Petit récipient à eau de Seltz non grillé ; poussé à 2 1/2 atmosphères. — Comme ce récipient fuit un peu, je recharge au moins deux fois par jour, quelquefois à 3 atmosphères ; ce qui fait une ventilation bien suffisante.

B. Récipient semblable, mais grillé, bouché ; pression normale ; changé l'air tous les jours.

19 *avril*. Radicules apparaissent à A et à B.

24 *avril*. Pas de différence bien nette ; les pousses ont environ 6c, mais elles sont un peu plus pâles à A qu'à B.

28 *avril*. Les deux semis sont à peu près identiques, mesurant 10 à 12c. Les pousses de A sont moins vertes que celles de B, et cependant elles reçoivent notablement plus de lumière.

Expérience CCCLXVIII. — 28 avril. Semis de 20 grains d'orge et de grains de radis.

A. Dans le récipient cylindrique, à 10 atmosphères d'air; on change l'air tous les jours, matin et soir.

B. Dans un vase mal bouché; pression normale.

7 *mai.* — A. Aucun développement apparent; B. Les pousses de radis ont $1^c,5$; celles de l'orge ont 3^c.

12 *mai.* — A. A peine quelques radicules de radis et d'orge.

B. Les radis mesurent de 3 à 5^c; l'orge de 5 à 8^c. Je décomprime et sème A sur du papier mouillé; les radis commencent à pousser le 16 mai; l'orge moisit.

Expérience CCCLXIX. — 11 juin. Semé 20 grains d'orge et 20 grains de cresson.

A. Dans réservoir cylindrique, à 5 atmosphères d'air; changé l'air deux fois par jour.

B. Dans éprouvette fermée; pression normale.

13 *juin.* Quelques radicules d'orge et de cresson à A et à B.

16 *juin.* — A. Le cresson a germé; l'orge ne montre aucune tige.

B. Cresson plus beau qu'à A; orge mesurant de 1 à 2^c.

18 *juin.* — A. Les pousses de cresson ont de $1^c,5$ à $2^c,5$; les feuilles ne sont pas encore étalées, et ne sentent pas le cresson; les tiges d'orge, au nombre de 16, commencent à sortir du fourreau et ont de $1^c,5$ à 4^c.

B. Pousses de cresson, 3^c, très-vertes, étalées en rosette, sentant très-fort le cresson; 20 tiges d'orge de 8 à 9^c, quelques-unes allant jusqu'à 12^c.

Expérience CCCLXX. — 19 juin. Orge et cresson sur papier mouillé.

A. Sous cloche; pression normale.

B. 6 atmosphères d'air.

On change l'air tous les jours.

22 *juin.* — A. Cresson germé; tigelles de l'orge sorties.

B. Cresson à peine apparaît; on voit quelques radicelles d'orge.

29 *juin.* — A. Cresson, 3^c, bien vert et sentant fort; orge de 12 à 20^c.

B. Cresson, 2^c, bien vert et sentant fort; orge, tiges de $1^c,5$.

Expérience CCCLXXI. — 17 août. Semis, sur papier bien mouillé, de graines de belles-de-nuit, de ricin et de melon, qui ont été décortiquées après deux jours de séjour dans l'eau.

A. Appareil cylindrique à 2 atmosphères d'air.

B. Vase ouvert.

18 *août.* — 9 heures du matin : à A et à B, quelques belles-de-nuit ont germé.

Je pousse A à 6 atmosphères, et change l'air tous les jours.

23 *août.* — A. Même état.

B. Les radicules des graines de melon et de ricin apparaissent.

26 *août.* — A. Rien n'a poussé.

B. Les belles-de-nuit ont 2 à 3c ; les graines de melon et de ricin ont lancé toutes leurs racines.

B continue à pousser à l'air libre, tandis que rien ne pousse à A.

Ces expériences montrent de la manière la plus nette que, à partir d'une certaine pression, la germination est ralentie, qu'à une pression plus élevée elle n'a pas lieu. De plus, certaines graines sont mortes alors et ne peuvent plus se développer quand on les ramène à la pression normale.

Mais avant d'étudier ces résultats dans leurs détails, il faut que nous résolvions encore la question que nous avons plusieurs fois rencontrée, et que nous sachions si cet effet fâcheux est dû à la pression même ou à la tension chimique exagérée de l'oxygène.

Et ici, nous retrouvons les diverses méthodes que nous sommes habitués à employer : 1° faire la compression avec de l'air pauvre en oxygène, en telle sorte que la tension de ce gaz équivaille à celle de l'oxygène de l'air à la pression normale; 2° faire des expériences à la pression normale avec de l'air plus riche en oxygène que l'air ordinaire ; 3° employer à la fois une faible pression, et de l'air fortement oxygéné, de manière à obtenir une haute tension avec peu de pression.

A. — *Pressions fortes avec air peu oxygéné.*

Expérience CCCLXXII. — 13 juillet. Semis d'orge sur papier mouillé.

A. Récipient à pression normale, bien bouché.

B. Semblable ; poussé à 4 atmosphères, dont 3 d'air très-riche en azote.

14 *juillet.* Mis à 2 atmosphères seulement. On a renouvelé et on renouvelle chaque jour avec air très-azoté.

16 *juillet.* 3 atmosphères. Rien ni à A ni à B.

17 *juillet.* Un peu de germination aux deux.

19 *juillet.* — A. Pousses un peu plus fortes qu'à B.

22 *juillet.* id.

L'air de B contient 1,7 d'acide carbonique et 11,9 pour 100 d'oxygène. La pression de l'oxygène était donc à la fin $13,6 \times 3 = 40,8$.

Expérience CCCLXXIII. — 4 novembre. Orge et cresson sur papier mouillé.

A. Éprouvette à pression normale.

B. Appareil cylindrique, à 8 atmosphères d'air peu oxygéné; le mélange contient 5,7 d'oxygène, dont la pression $5,7 \times 8 = 45,6$ correspond à environ 2 atmosphères d'air.

7 *novembre*. A, quelques germes.

8 *novembre*. A, un peu plus ; B, rien. L'appareil a perdu, la pression est tombée à 6 atmosphères ; on la remonte à 8 avec le même air.

9 *novembre*. Quelques grains d'orge germent à B : à A, les pousses sont déjà belles.

11 *novembre*. Même état ; on décomprime, et l'on sème sur terre mouillée les grains venant de B. Le gaz de l'appareil contient CO^2 3,2 ; O 1,6 ; la pression de CO^2 est donc ici $3,2 \times 8 = 25,6$.

20 *novembre*. Le cresson a 3^c, les grains d'orge 5 ou 6.

Expérience CCCLXXIV. — 2 août. Semis d'orge et de cresson.

A. Appareil cylindrique poussé à 10 atmosphères d'un air qui contient 9,8 p. 100 d'oxygène ; la tension de ce gaz est donc 98, correspondant à près de 5 atmosphères d'air.

B. Éprouvette, pression normale.

3 *août*. Je ramène A à 7 atmosphères ; la tension de l'oxygène n'est plus que $7 \times 9,8 = 68,6$ soit un peu plus de 3 atmosphères d'air.

4 *août*. Les cressons et l'orge ont poussé partout, bien qu'avec un retard évident de A sur B.

Il résulte déjà de ces expériences que c'est bien l'oxygène qu'il faut accuser. En effet, dans l'expérience CCCLXXII, la germination, si l'on avait employé l'air ordinaire, aurait été notablement retardée, tandis qu'elle l'a été à peine; dans les deux autres expériences, elle aurait dû être complétement arrêtée par des pressions de 8 et 10 atmosphères, tandis qu'il n'y a eu qu'un retard explicable par la tension de l'oxygène, qui correspondait déjà à 2 atmosphères (exp. CCCLXXIII) ou à 3 atmosphères (exp. CCCLXXIV).

Dans l'expérience CCCLXXIII un élément nouveau, la tension considérable de l'acide carbonique, s'est introduit et vient compliquer les résultats. C'est la raison pour laquelle je n'ai pas multiplié les expériences faites par cette méthode, où il était assez difficile de renouveler suffisamment un air pauvre en oxygène.

B. — *Pression normale : air suroxygéné.*

J'arrive aux expériences plus nombreuses et bien plus concluantes faites par la deuxième méthode :

EXPÉRIENCE CCCLXXV. — 12 juillet. Orge semé sur papier mouillé ; 20 grains.

A. Cloche de 7^l ; air contenant 65 p. 100 d'oxygène, ce qui correspond à 3 atmosphères d'air.

B. Cloche de 13^l ; air ordinaire.

18 *juillet*. A, les pousses ont 8^c ; celles de B, 12^c.

22 *juillet*. A, en moyenne 15^c ; B, en moyenne 21^c.

EXPÉRIENCE CCCLXXVI. — 4 novembre. Semis d'orge et de cresson sur papier mouillé.

A. Air à 79 p. 100 d'O. c'est-à-dire valant près de 4 atmosphères d'air.

B. Air ordinaire.

7 *novembre*. Quelques germes apparaissent à B.

9 *novembre*. Quelques germes à A.

25 *novembre*. A. Deux grains d'orge seuls ont poussé, et mesurent 4^c ; le cresson a environ 2^c ; tout est peu vert.

B. Toutes les graines germées, bien vertes ; le cresson a environ 2^c, l'orge 12^c.

EXPÉRIENCE CCCLXXVII. — 7 décembre. 20 grains d'orge et cresson sur papier mouillé. Cloches de 2 à 3^l.

A, dans air à 65 p. 100 d'oxygène.
B, — 40 —
C, — 31 —
D, dans air ordinaire.

17 *décembre*. Le cresson a poussé partout assez également. L'orge jette partout ses radicules.

1er *janvier*. A. Les pousses d'orge ont 9^c, les tiges sont à moitié ouvertes, grêles, peu nombreuses ; le cresson a 2^c ; tous les grains ne sont pas germés.

B. Orge 12^c, tiges vertes ; cresson 2^c.

C. Orge 13^c, tiges élancées, mais fermées ; cresson 3^c.

D. Orge 10^c, tiges larges, étalées, vertes ; cresson 2^c, tassé, bien vert.

14 *janvier*. A. Orge 11^c, tiges décolorées, grêles, peu nombreuses ; cresson 2^c.

B. Orge 14^c, tiges vertes, ouvertes ; cresson 3^c.

C. Orge 16^c, tiges longues, grêles, fermées ; cresson 4^c.

D. Orge 13^c, feuilles ouvertes, bien vertes ; cresson 3^c.

20 *janvier*. A. Orge 11^c, tout jaune, mourant ; B et C, orge 20^c, tiges jaunâtres ; D, 14^c, bien vert.

Ainsi B et C ont poussé des tiges plus longues que D, mais qui ne se portent pas aussi bien ; A au contraire est tout à fait malade.

EXPÉRIENCE CCCLXXVIII. — 11 mars. 40 grains d'orge et des graines de cresson sont semés sur papier à filtre mouillé, et placés.

A. Dans une cloche de $2^l,5$, pleine d'air à la pression normale.

B. Cloche de $2^l,25$; pression normale ; air contenant 30,2 p. 100 d'oxygène, ce qui correspond à peu près à 1 atmosphère 1/2 d'air.

C. Cloche de $2^l,6$; pression normale ; air contenant 43 p. 100 d'oxygène, soit un peu plus de 2 atmosphères d'air.

D. Cloche de $2^l,5$; pression normale ; air à 58,5 p. 100 d'oxygène, soit 2 atmosphères 3/4 d'air.

29 *mars*. Arrêté l'expérience : l'orge et le cresson ont poussé partout ; à A et B les pousses sont un peu plus vertes et de 1,5 à 2^c plus longues qu'à C et D. Du reste, l'air de B contient 17,5 d'oxygène seulement, avec 13,4 d'acide carbonique ; l'air de C contient 28,2 d'oxygène et 12,5 de CO^2 ; celui de D, 44,8 d'oxygène et 11,2 de CO^2 ; l'air de A a été renouvelé.

EXPÉRIENCE CCCLXXIX. — 6 mai. Semis d'orge.

A. Air à 94 p. 100 d'oxygène, soient 4 1/2 atmosphères d'air.

B. Air ordinaire.

13 *mai*. L'orge a paru aux deux ; il semble y avoir quelque avantage pour A, qui est plus vert.

Mais les jours suivants, l'avantage se manifeste à B, et le 20 mai, les pousses de A n'ont que 2 à 3^c, tandis que celles de B ont 8 à 9^c.

Cependant l'analyse de l'air de B n'y décèle plus d'oxygène, et il s'y trouve 25,4 d'acide carbonique ; à A, il y a 19,9 de CO^2, et seulement 71,6 d'oxygène.

La tension moyenne de l'oxygène a donc été 4 atmosphères d'air environ.

C. — *Faibles pressions : air suroxygéné.*

EXPÉRIENCE CCCLXXX. — 4 novembre. Semis d'orge et de cresson sur papier mouillé.

A. A la pression de 3 atmosphères d'un air contenant 86,9 p. 100 d'oxygène. La tension de ce gaz est ainsi de 260, correspondant environ à 12 1/2 atmosphères d'air.

B. Pression normale, air ordinaire.

7 *novembre*. Rien à A ; quelques pousses à B.

11 *novembre*. Rien à A ; tout a germé à B. L'air de A contient encore 86,2 d'oxygène, avec 0,7 d'acide carbonique.

Je sème sur de la terre humide les graines de A. Le 20 novembre, le cresson commence à pousser, mais l'orge est mort,

EXPÉRIENCE CCCLXXXI. — 31 mai. Semis de grains d'orge sur papier mouillé.

A. 5gr dans réservoir cylindrique à 3 1/3 atmosphères d'un air contenant 54 p. 100 d'oxygène; la tension correspond à 180, soient environ 9 atmosphères d'air.

B. 8gr, pression normale, air ordinaire, cloche de 1840cc.

3 *juin*. Aucune germination. Je change l'air à B et l'oxygène à A. Après cette opération, l'air de A contient 46,2 d'oxygène, la pression est poussée à 3 atmosphères; la tension est donc 138, soient un peu moins de 7 atmosphères.

7 *juin*. A. A peine quelques radicules; la pression est tombée à 2 atmosphères; l'air contient 2 p. 100 de CO^2 et 41,2 d'oxygène.

B. Les pousses ont 3 à 5c et sont très-vertes. L'air contient 8 p. 100 de CO^2 et 11,2 d'oxygène.

En supposant pour A une pression moyenne de 2 1/2 atmosphères, on trouve que dans les 4 jours, les graines de A ont consommé, par 10gr 136cc d'oxygène, et celles de B 225cc.

Je sème sur de la terre humide les graines de A, qui se développent.

Le tableau XVII résume les résultats principaux des expériences ci-dessus. Elles sont disposées suivant l'ordre croissant des tensions d'oxygène exprimées en atmosphères.

Les diverses méthodes employés concordent pour montrer qu'une augmentation même légère dans la tension de l'oxygène agit d'une manière défavorable à la germination; dès deux atmosphères ou dès 40 p. 100 d'oxygène, elle est manifestement ralentie.

A 5 atmosphères, ce qui correspond à l'oxygène pur, le retard apporté à la germination est extrêmement considérable.

Au-dessus de 7 atmosphères, les graines ne font que jeter quelques radicules, sans qu'apparaisse leur tigelle.

Enfin, vers 10 atmosphères, les graines d'orge, ramenées à la pression normale, sont mortes et ne germent plus, tandis que celles de cresson résistent et poussent, bien qu'avec une certaine lenteur (expér. CCCLXXX).

Or, les graines de cresson ont des cotylédons minces et secs et ne contiennent pas d'albumen. Je me suis demandé si la mort des germes d'orge ne tiendrait pas à quelque altération chimique de l'albumen considérable qui les accompagne.

Mes expériences sur la fermentation, qui seront rapportées au chapitre, m'ont persuadé de l'exactitude de cette hypo-

thèse. Du reste, on voit par l'expérience CCCLXXI que des graines charnues comme celles du ricin et du melon ont été

TABLEAU XVII.

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	PRESSION BAROMÉTRIQUE	VALEUR DE LA TENSION D'OXYGÈNE EN PRESSION BAROMÉTRIQUE	DURÉE DE LA COMPRESSION EN JOURS	ESPÈCES EN EXPÉRIENCE	COMPARAISON AVEC LA PRESSION NORMALE
CCCLXXVIII	1	1 1/2	18	Orge et cresson	Aussi bien qu'à l'air.
CCCLXXVII	1	1 1/2	43	Orge et cresson	Plus longs; mais moins bien portants.
CCCLXII	1 3/4	1 3/4	6	Orge	Un peu de retard.
CCCLXXVIII	1	2	18	Id.	Un peu ralenti.
CCCLXXVII	1	2	43	Orge et cresson	Plus longs; mais moins bien portants.
CCCLXXII	3	2	9	Orge	Un peu de retard.
CCCLXVI	2	2	8	Id.	Id.
CCCLXXVIII	1	2 1/2	18	Id.	Id.
CCCLXVII	2 1/2	2 1/2	12	Id.	Un peu plus pâle.
CCCLXV	2 3/4	2 3/4	10	Id.	Ralentissement évident.
CCCLXXV	1	3	10	Id.	Ralenti.
CCCLXXVII	1	3	43	Orge et cresson	Ralenti et fort mal portants.
CCCLXXIV	7	3 1/4	2	Id.	Ralenti.
CCCLXXVI	1	4	11	Orge Cresson	Quelques grains seuls germent. Germe, peu vert.
CCCLXXIX	1	4 1/2	7	Orge	Très-ralenti.
CCCLXIX	5	5	7	Orge et cresson	Très-ralentis.
CCCLXIII	5	5	13	Orge	Très-ralenti, mais pousse très-bien à l'air libre.
CCCLXXX	6	6	10	Orge et cresson	Très-ralentis, orge surtout.
CCCLXXI	6	6	9	Belles-de-nuit Ricin Melon	Germent, mais ne poussent plus, même à l'air libre. Pas de germination, même à l'air libre.
CCCLXIV	7	7	8	Orge	Quelques radicelles.
CCCLXXXI	3	7	7	Id.	Quelques radicelles; pousse à l'air libre.
CCCLXVIII	10	10	14	Id. Cresson	Ne germe pas, même à l'air libre. Germe après avoir ramené à l'air libre.
CCCLXXX	3	12 1/2	7	Orge Cresson	Rien; est mort, Rien; pousse à la pression normale.

bien plus fortement impressionnées par la pression que celles des belles-de-nuit, qui ressemblent davantage à celles du cresson.

Je ferai remarquer, en terminant, que pour obtenir des résultats concluants, il faut mouiller les graines. Sans quoi l'oxygène, malgré la haute tension, ne les tuerait point. Exemple :

Expérience CCCLXXXII. — 19 juillet. On place dans un flacon du blé sec; dans un autre du blé humecté au préalable, mais qui cependant ne baigne pas dans l'eau.

Les deux flacons sont soumis à 15 atmosphères d'un air contenant 70 p. 100 d'oxygène.

31 *juillet.* Décompression et semis.

Le blé sec pousse parfaitement bien; l'autre pourrit en terre sans rien donner.

§ 2. — **Végétation.**

Les expériences sur la végétation sont très-difficiles à faire, on le comprend aisément, à cause de l'exiguïté des récipients en verre et de leur peu de transparence. En voici cependant quelques-unes qui sont suffisamment concluantes :

Expérience CCCLXXXIII. — 28 avril. Orge poussée de 10 à 12c dans les grands récipients de gazogène à eau de Seltz (2 lit.).

L'un A, qui est dans le récipient grillé, est fermé et laissé à la pression normale.

L'autre B, récipient non grillé, qui laisse passer plus de lumière, est poussé à 3 atmosphères suroxygénées, que l'on change deux fois par jour.

7 *mai.* A a plus que doublé de longueur; B n'a pas changé : laissés à l'air libre, les brins jaunissent et meurent.

Expérience CCCLXXXIV. — 25 juillet. Petites sensitives d'environ 6 à 8c de haut, bien vivantes, en pot.

A. Mis en pot dans le récipient d'un litre, avec grillage; laissé à la pression normale, bien bouché.

B. Autre pot dans récipient semblable, mais sans grillage, et par conséquent dans de meilleures conditions d'éclairage. Porté à 6 atmosphères d'air.

Dès le soir B est insensible.

26 *juillet.* Les feuilles tombent à B.

27 *juillet.* B complétement mort; A va bien.

Expérience CCCLXXXV. — 1er août. Sensitives semblables à celles de l'expérience précédente. Mêmes récipients.

A. A 3 atmosphères.

B. Sous pression normale.
5 *août*. Toutes deux sensibles et bien portantes.

Expérience CCCLXXXVI. — 25 juillet. Petites sensitives, bien sensibles.
A. Appareil cylindrique à 4 atmosphères d'oxygène à 80 p. 100 ; tension 320, équivalente à près de 16 atmosphères d'air.
B. Pression normale, air.
27 *juillet*. A, morte ; B bien sensible.

Ainsi, les sensitives périssent rapidement à 6 atmosphères d'air, et il est plus que probable que les autres végétaux verts mourraient à la même pression, bien que beaucoup moins rapidement. Les végétaux paraissent ainsi redouter l'excès de tension de l'oxygène encore plus que les animaux, même que les animaux à sang chaud.

SOUS-CHAPITRE III

RÉSUMÉ.

Les expériences contenues dans le présent chapitre prouvent en résumé que sous les pressions supérieures ou inférieures à une atmosphère, la germination et la végétation des plantes vertes sont ralenties, arrêtées même. Comme pour les animaux, cet effet funeste est dû non à la pression même, mais à la tension de l'oxygène, tantôt trop faible, d'où résulte une sorte d'asphyxie, tantôt trop forte et tuant les graines ou les plantes.

Dans la troisième partie de ce livre, nous tirerons de ces faits les conséquences qu'ils comportent relativement à la distribution géographique des plantes et à l'apparition de la vie végétale à la surface du globe.

CHAPITRE VI

ACTION DES MODIFICATIONS DE LA PRESSION BAROMÉTRIQUE SUR LES FERMENTS, LES VENINS, LES VIRUS ET LES ÉLÉMENTS ANATOMIQUES.

Les travaux admirables de M. Pasteur ont démontré que les phénomènes connus sous le nom de fermentations appartiennent à deux catégories bien distinctes. Les uns sont corrélatifs au développement d'êtres vivants microscopiques, végétaux ou animaux : telles les fermentations alcoolique, acétique, butyrique, telle la putréfaction. D'autres sont déterminés par l'action obscure encore de substances produites par des êtres vivants, mais solubles dans l'eau, et conservant leur vertu après avoir été isolées des liquides où elles se trouvaient, et même desséchées : telle est la transformation de l'amidon en glycose sous l'influence de la diastase animale ou végétale : telle la formation de l'essence d'amandes amères par la synaptase agissant sur l'amygdaline, etc.

Il était tout naturel de se demander si les modifications dans la pression barométrique, nous pouvons dire maintenant dans la tension de l'oxygène ambiant, exerceraient sur ces phénomènes une action appréciable. Tout d'abord, pour les fermentations vraies, la question se réduisait à savoir si un agent à la fois aussi nécessaire et aussi redoutable, suivant les doses, que l'oxygène, dont la privation empêche de vivre et dont

l'excès tue les animaux et les végétaux visibles à l'œil nu, et d'une organisation anatomique un peu compliquée, si cet agent serait sans action sur les êtres microscopiques, réduits à la structure cellulaire. Pour les fausses fermentations, les fermentations zymotiques, comme elles jouent, à coup sûr, un très-grand rôle dans les phénomènes chimiques de la nutrition chez tous les êtres vivants, il était intéressant de savoir si la tension de l'oxygène pouvait agir sur elle.

Les venins, les virus, qui, à tant de points de vue, se rapprochent des ferments de ces deux classes, méritaient également d'être mis en expérience. Enfin, je devais, après avoir étudié ces espèces d'éléments anatomiques libres, examiner l'action des modifications de la tension oxygénée sur les divers éléments anatomiques dont la savante agglomération constitue un être vivant.

Les effets si curieux de l'augmentation de pression devaient tout particulièrement fixer mon attention. J'ai cependant fait quelques expériences avec l'air dilaté; mais j'en mêle le récit à celui des autres, avec lesquelles elles ont été le plus souvent faites simultanément.

Je dois dire enfin que j'ai employé à tour de rôle, et suivant l'intérêt des expériences, de l'air ordinaire comprimé, de l'air suroxygéné comprimé, ou de l'air suroxygéné à la pression normale. Je considère comme suffisamment démontrée par toutes les recherches antérieures cette vérité que l'action de la compression n'est autre que l'action de l'oxygène à haute tension. Du reste, pour les questions traitées dans ce chapitre, les expériences constituent un contrôle qui devient par lui-même démonstratif.

SOUS-CHAPITRE PREMIER.

FERMENTATIONS PAR ORGANISMES.

§ 1er. — Putréfaction.

J'ai pris tout particulièrement comme type et sujet d'étude les fermentations de la putréfaction. Certes, au point de vue chimique, les phénomènes que la putréfaction présente sont extrêmement complexes et difficiles à suivre. Mais sa constance, la facilité avec laquelle on l'obtient, les signes extérieurs aisés à constater qui la caractérisent, m'ont paru être d'un grand avantage pour le point de vue auquel je suis placé. Aussi commencerai-je par énumérer les principales expériences que j'ai faites sur ce sujet important.

Il s'agira d'abord de la putréfaction de la viande :

A. — *Viande.*

EXPÉRIENCE CCCLXXXVI. — 21 juillet. $\theta = 22°$. Muscles de chien tué quelques heures avant. 100^{gr}, coupés en morceaux, sont placés :

A, dans un flacon de 2^{l}, à la pression normale;

B, — $4^{l},250$, à 38^{c} de pression;

C, dans le récipient à eau de Seltz, contenant 1050^{cc}, où je comprime à 5 1/2 atmosphères un air suroxygéné contenant 75,7 pour 100 d'oxygène.

Tension de l'oxygène : $75,7 \times 5,5 = 416$, équivalant à 20,8 atmosphères environ.

25 *juillet.* A. Le tube manométrique annexé indique environ 1^{c} (mercure) d'excès de pression. La viande est évidemment très-pourrie. L'air du flacon est horriblement infect ; il contient 38 pour 100 d'acide carbonique, mais plus trace d'oxygène. Il y a eu ainsi 410^{cc} d'oxygène consommé et 760^{cc} d'acide carbonique produit.

B. La pression a baissé de 1^{c} au plus; la viande a un aspect un peu rosé. L'air du flacon est un peu moins infect que celui de A ; il contient 30,9 pour 100 de CO^2, mais plus trace d'oxygène. Il y a donc eu 440^{cc} d'oxygène consommé et 649^{cc} de CO^2 produit.

C. Pression bien maintenue. La viande est d'une couleur ambrée. L'air du récipient n'a *aucune odeur;* il contient 7,2 pour 100 de CO^2 et 69 pour 100 d'oxygène. Il y a donc eu environ 357^{cc} d'oxygène consommé et 396^{cc} de CO^2 produit.

EXPÉRIENCE CCCLXXXVII. — 27 juillet. 7^{h} du soir. $\theta = 23°$. Un petit chien

étant mort la veille au soir, ses pattes postérieures, pesant 95gr, sont placées :

A, sous une cloche de 3l,200, pleine d'air à la pression normale; la cloche étant bien fermée.

B, dans l'appareil à eau de Seltz (1050cc), avec 4 atm. suroxygénées.

28 *juillet*. A 5h, on change l'air de A et celui de B, qu'on maintient à 7 atmosphères.

29 *juillet*, 2h. A. L'air, qui ne sent rien, contient : O. 17,1 ; CO^2 1,8. La viande est rougeâtre.

B. L'air ne sent rien, et contient O. 65,5 ; CO^2 0,8. La tension de l'oxygène était donc au début environ $66 \times 7 = 462$, équivalant à 23 atm. d'air. La viande est jaunâtre. Je ramène la pression à 6 atm. 1/4.

31 *juillet*, 5h du soir. $\theta = 23°$. A. L'air sent fort mauvais ; il contient : O, 3,8 ; CO^2 17,2 ; il y a donc été consommé, depuis le 29 juillet, 534cc d'oxygène, et formé 117cc de CO^2.

B. Aucune odeur. Il a été consommé 32cc d'oxygène, et formé 50cc de CO^2.

A est retiré et changé d'air, avec la même cloche ; la viande répand une odeur horrible ; les poils et l'épiderme se détachent.

B est amené à 6 atmosphères.

3 *août*, 2h. $\theta = 21°$. A. Air d'une puanteur repoussante; couvert de moisissures. L'air ne contient plus trace d'oxygène, mais 23,9 de CO^2 ; il a été consommé, depuis le 31 juillet, 651cc d'oxygène et formé 741cc de CO^2.

B. Aucune odeur, aucune moisissure. L'air contient 59,2 d'oxygène et 5,2 de CO^2. Il a donc été consommé 348cc d'oxygène, et formé 212cc de CO^2.

B est retiré et placé sur une assiette dans le laboratoire. Dès le lendemain, commence à sentir mauvais ; le 7, des moisissures y apparaissent.

Expérience CCCLXXXVIII. — 14 novembre. $\theta = 14°$.

A. Je place dans l'appareil cylindrique en verre deux côtelettes de mouton, et les soumets à 11 atmosphères de pression, avec de l'air contenant 79,9 pour 100 d'oxygene. La tension de ce gaz est donc 879, correspondant à 44 atmosphères d'air environ.

B. Une autre côtelette est suspendue dans une vaste cloche fermée.

19 *novembre*. B est infect.

A a bonne apparence. Le manomètre est tombé à 7 atmosphères. L'air, qui ne sent absolument rien, contient 78,4 d'oxygène et pas trace d'acide carbonique.

Je pousse de nouveau la pression à 11 atmosphères avec de nouvel oxygène.

21 *novembre*. Toujours aucune mauvaise odeur à A, et bon aspect.

Je prends une côtelette fraîche C, et la suspends dans une cloche absolument remplie d'eau. Je fais alors arriver dans cette cloche une certaine quantité de l'air comprimé venant de A ; il reste de l'eau au fond de la cloche. A tombe alors à 6,5 atmosphères.

24 *novembre*. Aucune odeur à A. On laisse se faire une très-légère fuite, en sorte que le 25 la pression est normale; les côtelettes ont pris une couleur jaunâtre.

B est alors en putréfaction complète. C est jaunâtre, et l'eau s'est élevée dans sa cloche.

13 *décembre*. J'ouvre l'appareil et mets fin à l'expérience.

A. Viande rose, un peu acide; odeur faible de marinade. Je *fais griller* les côtelettes; elles présentent un *goût fade*, mais non repoussant.

B a dû être jeté depuis le 10, réduite en putrilage.

C. Viande flasque, rose, un peu acide; odeur désagréable, mais qui n'est pas celle de la putréfaction ordinaire.

Expérience CCCLXXXIX. — 22 novembre.

A. On place dans le récipient à eau de Seltz (1050^{cc}) deux côtelettes, qui sont poussées à 8 atmosphères suroxygénées.

B. Une autre côtelette est placée, sous cloche, dans de l'oxygène.

C. Une troisième, de même, dans de l'air.

24 *novembre*. A est tombé à 2 atmosphères; je recharge à 8 atmosphères ; la viande est d'un rouge sombre.

B est d'un rouge vif.

C a la couleur ordinaire.

1er *décembre*. A n'a aucune mauvaise odeur ; consistance normale ; réaction alcaline, aspect jaunâtre.

B. Odeur mauvaise ; réaction alcaline.

C. Odeur tout à fait infecte ; chairs diffluentes ; réaction acide; noircit le papier à acétate de plomb.

Expérience CCCXC. — 11 décembre.

Sous deux cloches renversées sur l'eau, et dont l'une A contient de l'air, l'autre B de l'oxygène, on suspend des fragments de muscle.

8 *janvier*. L'air est infect dans les deux cloches; A présente un grand nombre de champignons; B, quelques-uns seulement.

Expérience CCCXCI. — 19 décembre. On taille trois morceaux de viande non graisseuse, aussi semblables que possible dans la forme.

A. L'un, pesant 45^{gr}, est suspendu sous une cloche fermée, de 11^{l},5, pleine d'air ordinaire.

B. Le second, pesant 40^{gr}, est suspendu dans une cloche de 3^{l},2, qui contient un air à 90 pour 100 d'oxygène.

C. Le troisième, pesant 35^{gr}, est placé dans l'appareil cylindrique en verre, et soumis à la compression de 10 atmosphères d'un air contenant 88 pour 100 d'oxygène ; la tension de l'oxygène est donc exprimée par 880, correspondant à 44 atmosphères d'air.

26 *décembre*. On prend de l'air aux 3 cloches, sans le renouveler.

A. La viande a mauvais aspect; la partie inférieure évidemment putréfiée. L'air a une odeur fade, un peu faisandée. L'air contient : O. 12,2; CO^2 6,4.

B. A peu près même aspect de la viande. Odeur fade. L'air contient : O 70 ; CO^2 12,9.

C. La viande a bon aspect, mais un peu brunie. Aucune odeur. L'air n'a nullement changé de composition.

8 *janvier*. On prend encore de l'air, et on arrête l'expérience.

A. Viande très-acide, avec une horrible odeur ; ramollie. L'air contient 7 pour 100 d'oxygène et 12,3 de CO^2.

B. Viande très-acide; odeur très-mauvaise, mais moins forte que A. L'air contient 40 pour 100 d'oxygène et 38,2 de CO^2.

C. Viande un peu acide, grisâtre, ferme, avec une légère odeur aigrelette, qui n'est pas désagréable. *Cuite*, elle est fadasse, mais *sans mauvais goût*.

La composition de l'air n'a pas changé. — Si nous cherchons à déterminer, dans ces deux périodes, la quantité d'oxygène qui a été consommée, et la quantité de CO^2 qui a été produite par la viande placée dans ces diverses conditions, nous arrivons aux résultats suivants, où tout est rapporté à un poids égal, 100^{gr} de viande.

Du 19 au 26 décembre :

A (air ordinaire, pression normale) a consommé $2^l,2$ d'oxygène et produit $1^l,6$ de CO^2.

B (air à 90 pour 100 d'oxygène, pression normale) a consommé $1^l,7$ d'oxygène et produit $1^l,2$ de CO^2.

C (air à 88 pour 100 d'oxygène, 10 atmosphères) a consommé 0^l d'oxygène et produit 0^l de CO^2.

Du 26 décembre au 8 janvier :

A (air à 12,2 pour 100 d'oxygène) a consommé $1^l,3$ d'oxygène et produit $1^l,4$ de CO^2.

B (air à 70 pour 100 d'oxygène) a consommé $2^l,6$ d'oxygène et produit 2^l de CO^2.

C (air à 88 pour 100 d'oxygène, 10 atmosphères) a consommé 0^l d'oxygène et produit 0^l de CO^2.

J'appelle particulièrement l'attention sur cette expérience. Elle montre que, en vingt jours, la viande dans l'oxygène comprimé n'a pas consommé d'oxygène ni formé d'acide carbonique ; elle n'a pas présenté apparence de putréfaction.

On voit, de plus, que la viande consomme moins d'oxygène dans l'air à 90 pour 100 d'oxygène que dans l'air à 21, mais plus dans l'air à 70 que dans l'air à 12.

Expérience CCCXCII. — 17 janvier. Morceaux de viande égaux en poids et semblables de forme.

A. Placé dans une cloche de $15^l,5$, où la pression est abaissée à demi-atmosphère.

B. Cloche de $7^l,1$; air ordinaire, à la pression normale.

C. Cloche de $2^l,6$; air à la pression normale, contenant 59 pour 100 d'oxygène.

D. Cloche de $3^l,2$; air à la pression normale, contenant 59,8 d'oxygène.

Toutes ces cloches sont hermétiquement fermées, avec clôture hydraulique.

23 *janvier*. La viande la moins altérée en apparence est A ; les plus altérées sont C et D. On prend de l'air :

B	contient	13,5 d'oxygène	et	7,2	d'acide carbonique.
A	—	16,4	—	5,3	—
C	—	25,2	—	19,1	—
D	—	36,0		17,3	—

On calcule aisément, à l'aide de ces données, que dans l'espace de six jours :

A (air ordinaire, à 1/2 atmosphère) avait consommé 343^{cc} d'oxygène et formé 418 de CO^2.

B (air ordinaire, à 1 atmosphère) avait consommé 524^{cc} d'oxygène et formé 514 de CO^2.

C (air suroxygéné, correspondant à 2 1/2 atmosphères) avait consommé 642^{cc} d'oxygène et formé 496 de CO^2.

D (air suroxygéné, correspondant à 3 atmosphères) avait consommé 761^{cc} d'oxygène et formé 556 de CO^2.

La consommation d'oxygène a donc toujours été en augmentant de 1/2 atmosphère à 3 atmosphères.

Expérience CCCXCIII. — 14 janvier. Des morceaux de viande de bœuf sont placés dans deux petits flacons (A et A′), dont les bouchons sont traversés d'un tube capillaire ; on les enferme alors dans l'appareil cylindrique sous une pression de 10 atmosphères suroxygénées.

27 *janvier*. Décompression ; la viande, un peu brunie, ne semble point altérée. On cachète rapidement les tubes capillaires avec de la cire bouillante, et l'on renverse les deux flacons dans des vases pleins d'eau. Deux morceaux de viande sont disposés de la même manière à côté d'eux (B et B′).

10 *février*. B et B′ sont évidemment pourries, et sentent mauvais à travers les bouchons.

A a laissé rentrer un peu d'eau ; depuis ce moment, la viande est redevenue rose ; l'eau est sanguinolente et se couvre de moisissures. A′, au contraire, est très-ferme, très-saine, de couleur ambrée.

25 *mars*. Même aspect ; l'eau a continué de monter dans A. On ouvre ce flacon, il sent très-mauvais.

22 *mai*. Fin de l'expérience. Les témoins B et B′ sont en putrilage infect ; au microscope, on y voit beaucoup de vibrions, mais plus de fibres musculaires distinctes ; seulement quelques disques de Bowman.

On a remarqué depuis quelques jours qu'à travers les pores du bouchon de A′ s'échappent des bulles de gaz. La viande est devenue rosée,

mais elle est ferme et raide. Elle sent mauvais et est neutre aux réactifs. Au microscope, on y trouve quelques rares vibrions, les fibres musculaires sont restés bien striées. L'air de ce flacon contenait 75 pour 100 de gaz soluble dans l'eau potassée.

Expérience CCCXCIV. 19 juin. $\theta = 18°$.

Mis dans deux flacons bouchés au liége, de l'eau où l'on a broyé des fragments de viande :

A. Conservé comme témoin.

B. Bouchon percé d'un trou, flacon agité jusqu'à ce que toutes ses parois soient mouillées, puis placé dans le grand récipient à mercure, où l'on comprime à 20 atm. de l'oxyg. à 88 pour 100. La pression correspond donc à 88 atm.

24 *juin* . $\theta = 19°$. La pression est encore de 13 atm., 5. A, est rouge et sent mauvais. On décomprime et l'on cachète aussitôt B, qui est ambré et paraît ne rien sentir.

6 *juillet*. A est très-rouge, un peu alcalin; l'odeur en est infecte; il n'y a plus de moisissures à la surface; le précipité, très-abondant, contient en grand nombre des vibrions très-vifs, dont l'extrémité se termine par un renflement réfringent, et aussi des *bactérium termo* très-agiles. (Les observations microscopiques sont faites avec l'aide de M. Gayon, préparateur de M. Pasteur, à l'École normale.)

B a commencé à rougir depuis quelques jours, le bouchon était évidemment mauvais. Le liquide est couvert de moisissures verdâtres, constituées par un pénicillium à spores lisses elliptiques (*virens*?) ; il est très-peu alcalin. Il exhale une odeur faible de moisi, mais non de putréfaction. On n'y trouve pas de vibrions, mais des bactériums très-fins et très-agiles, et en outre de longs filaments d'une nature inconnue.

Expérience CCCXCV. — 26 juin 1874. $\theta = 19°$.

Deux lamelles de viandes sont placées chacune dans un flacon :

L'un A, est bouché et gardé comme témoin.

Le second B, est bouché, le bouchon percé d'un trou, puis porté à 15 atm. suroxygénées. J'ai ajouté un peu d'eau, et agité de manière à mouiller les parois et le bouchon.

21 *juillet*. On décomprime. A sent fort mauvais, depuis longtemps, à travers le bouchon, et est évidemment tout à fait pourri. B est jaunâtre, paraît sain, et n'exhale aucune odeur. Le bouchon a été enfoncé presque tout entier. Cependant je couvre tout l'orifice du flacon de cire bouillante.

3 *août*. Même état.

Les flacons sont conservés tout le reste de l'année, et la viande de B garde le même aspect.

16 *janvier* 1875, je montre A et B à la Société de Biologie. A est en putrilage complet. B a identiquement la même apparence que le 21 juillet.

Le 28 *juin* 1875, je montre ces flacons à l'Académie des sciences ; même aspect.

Le 3 *août*, ouvert au laboratoire de chimie de M. Chevreul, devant M. Cloëz : odeur aigrelette, agréable ; réaction un peu acide. Le flacon étant cassé, je mets dans le laboratoire même la viande, sans précautions, dans un flacon bouché à l'émeri.

Le 7 *août*, même odeur et même aspect ; pas de trace de putréfaction.

EXPÉRIENCE CCCXCVI. — 25 juin. Deux morceaux de viande, du poids de 31 grammes, sont taillés de forme semblable.

L'un A, est suspendu dans une cloche de $11^{l},5$ pleine d'air, avec fermeture hydraulique.

L'autre B, est placé dans l'appareil cylindrique en verre (cap. 650^{cc}), au fond duquel sont quelques centimètres cubes d'eau. On fait la compression à 10 atm. 1/2, avec de l'air à 81,1 pour 100 d'oxy. (tension 850 = 42,5 atm. d'air), et l'on agite ensuite l'appareil de manière à en mouiller toutes les parois.

30 *juin* : A, horiblement pourri, couvert de moisissures ; l'air contient 16,3 pour 100 d'oxyg., et 2,8 p. 100 d'ac. carbonique.

Il y a eu ainsi de consommé 522^{cc} d'oxyg., et de formé 328^{cc} d'ac. carb.

B. Couleur ambrée ; aucune odeur. L'air a conservé presque exactement sa composition primitive, puisqu'il contient 80,4 d'oxyg., et pas d'ac. carb.

Il y a donc eu 49^{cc} d'oxyg. de consommé. On ramène la pression à 2,75 atm. ; tension de l'oxygène : 220 = 11 atm.

12 *juillet*. B resté dans le même air ; même aspect ; toujours même odeur.

Mais l'air ne contient plus que 69 pour 100 d'oxyg., avec 12 pour 100 de CO^2.

Il y a donc eu 210^{cc} d'oxyg. de consommé, et 21^{cc} d'ac. carb. devenu libre.

On ramène la pression à 2,5 atm., la tension n'est plus que de 172 = 8,6 atm.

21 *juillet*. Même pression, même air. L'aspect est le même, il n'y a aucune odeur.

L'air ne contient plus que 57,2 pour 100 d'oxyg., avec 23 pour 100 de CO^2.

Il y a donc eu 1583^{cc} d'oxyg. consommé.

27 *juillet* : même aspect ; toujours aucune odeur.

Sans déboucher l'appareil, je le décharge entièrement, le ventile avec de l'oxyg., et pousse de nouveau la pression à 10 atm. 1/2. L'air contient alors 77,6 d'oxyg., et 1,2 de CO^2, tension de l'oxyg., 814 = 40,7 atm. d'air.

En même temps, je suspends dans une cloche de $15^{l},5$ un morceau de viande pesant 20 gr. — C.

3 *août*. B. La pression a bien tenu ; la viande a toujours le même aspect. L'air qui ne présente aucune odeur, contient 74,9 d'oxyg. et 3,2 de CO^2.

On voit aisément qu'il y a eu, en rapportant à 100 gr. de viande, 390^{cc} d'oxyg. consommé, et 397^{cc} de CO^2 formé.

C. La viande est alcaline, infecte. L'air contient 16,2 d'oxyg., et 3,6 de CO^2.

Il y a donc eu pour 100 gr. de viande, 2295^{cc} d'oxyg. consommé, et 3605^{cc} de CO^2 dégagé.

5 *août*. Je décomprime la viande qui est restée à 10 atm. Elle est jaune, assez ferme, et ne sent rien.

Je la mets dans une éprouvette qui avait été maintenue dans de l'eau bouillante, et je bouche avec un bouchon de caoutchouc qui était resté également longtemps dans l'eau bouillante.

18 *janvier* 1875. La viande a conservé à peu près son aspect primitif. Ouverte, elle est à peine ramollie, mais sent très-mauvais. Neutre aux papiers réactifs.

Expérience CCCXCVII. 21 juillet 1874, 6^h du soir. Morceaux de viande coupés en morceaux et placés :

A, dans un matras bouché ;

B, dans un matras semblable, dont j'étire le col à la lampe, n'y laissant qu'un petit orifice. Je le mets dans l'appareil en fer, et pousse la pression à 15 atm. suroxygénées.

22 *juillet*. La pression est tombée ; je retire B, et l'agite de manière que toutes les parois soient mouillées. Puis je le remets en place, et remonte à 8 atm. 1/2 suroxygénées.

A commence à sentir mauvais.

Le 23 *juillet*, poussé à 12 atm. suroxygénées.

Le 24 *juillet*, poussé à 15 atm. suroxygénées.

Le 30 *juillet*, la pression est de 14 atm. ; je décomprime, et ferme à la lampe le bout effilé de B : aucune odeur, aspect ambré.

A sent horiblement mauvais.

17 *janvier* 1875. Présenté à la Société de Biologie. A est un putrilage horrible d'aspect et d'odeur.

B, que je n'ouvre pas, a conservé sa forme et son apparence premières. On voit seulement quelques taches blanches qui semblent être de la graisse.

27 *mai* 1875. A est horrible ; pas de fibres reconnaissables au microscope.

B a éclaté dans la nuit ; la viande est ambrée, elle a conservé sa consistance, ses fibres avec leurs stries ; légèrement alcaline ; odeur assez faible de pourri.

Expérience CCCXCVIII. — 22 janvier. Languettes de viande pesant chacune 20 grammes, suspendues :

A. Dans l'appareil à compression en verre à 5 atmosphères d'air, qui représentent ainsi 3250^{cc} d'air.

B. Dans une cloche contenant 2500^{cc} d'air, à la pression normale.

C. Dans une cloche de 7100^{cc}, à une demi-atmosphère.

26 *janvier*. Les trois viandes ont une réaction alcaline. A a un peu d'odeur. B sent notablement plus mauvais que C.

L'air de A contient 20,4 pour 100 d'oxygène ; celui de B 16,5 ; celui de C 19,2.

On tire de ces chiffres cette conséquence que, dans l'appareil A, 100 grammes de viande ont consommé 81^{cc} d'oxygène; dans la cloche B, 550^{cc}, et dans la cloche C, seulement 300^{cc}.

Expérience CCCXCIX. — 28 janvier. Languettes de viande pesant chacune 39 grammes, disposées dans les mêmes appareils qu'à l'expérience précédente :

A. A 3 atmosphères d'air, solution de potasse dans le fond de l'appareil.

B. Pression normale.

C. Un tiers d'atmosphère.

2 *février*. Un peu d'odeur partout; toutes les viandes alcalines.

A contient 12,9 pour 100 d'oxygène. B 16,1. C 18,2. D'où résultent pour 100 grammes une consommation d'oxygène : en A de 405^{cc}; en B de 313^{cc}; en C de 103^{cc}.

Il faut faire remarquer que la tension de l'oxygène avait bien diminué en A, puisqu'à la fin de l'expérience elle n'était plus que de $12,9 \times 3 = 38,7$, c'est-à-dire moins de 2 atmosphères d'air.

Expérience CCCC. — 3 février. Languettes de viande de 39 grammes. Mêmes cloches ; mais dissolution de potasse au fond des cloches, et papiers imbibés de potasse sur les parois :

A. Pression normale.

B. Un tiers d'atmosphère.

8 *février*. L'air de A contient 10,9 pour 100 d'oxygène; celui de B 15,6. Pas d'acide carbonique.

D'où, pour 100 grammes, consommation de 249^{cc} en A; de 141^{cc} seulement en B.

Expérience CCCCI. — 10 février. Languettes de 43 grammes. Mêmes appareils. Potasse partout :

A. Pression normale.

B. 3 atmosphères d'air.

13 *février*. L'air de A contient 20,1 pour 100 d'oxygène; celui de B 18,9.

D'où consommation, pour 100 grammes : en A de 19^{cc} d'oxygène; en B de 38^{cc}.

Expérience CCCCII. — 16 février. Languettes de viande de 50 grammes chacune. Potasse dans les récipients.

A. Pression normale. Cloche contenant 2^{l},450 d'air, soient 512^{cc} d'oxygène.

B. Appareil cylindrique en verre, à 4 atmosphères d'air, contenant une quantité d'oxygène correspondant à 504^{cc}, à la pression normale.

19 *février*. — A. Mauvaise odeur; son air contient 16,8 d'oxygène.

B. Odeur un peu moins mauvaise ; l'air contient 16,4 d'oxygène.

D'où, pour 100 grammes, consommation en A de 101^{cc} d'oxygène ; en B de 109^{cc}.

Expérience CCCCIII. — 22 février. 30 grammes de viande. Mêmes appareils qu'à l'expérience précédente. Potasse partout :

A. Pression normale.

B. 4 atmosphères d'air.

24 *février*. Pas d'odeur nulle part.

L'air de A contient 21,0 d'oxygène; celui de B 20,8.

Expérience CCCCIV. — 17 mars. Viande en morceaux et eau ; dans 2 petits matras effilés à la lampe.

A. A la pression normale.

B B'. A 15 atmosphères d'une compression faite avec de l'air contenant 80 pour 100 d'oxygène.

26 *mars*. Décomprimé. A pourri, infect. B n'a pas d'odeur et est neutre aux papiers réactifs. Je ferme B' à la lampe.

15 *mai*. — B' a bon aspect; le liquide dans lequel baigne la viande a la couleur rosée naturelle.

10 *juin*. L'aspect de B' a changé depuis quelques jours ; il a perdu son aspect rosé. Dans la nuit du 9 au 10 juin, le matras éclate ; les morceaux de viande ont une odeur infecte, avec réaction un peu alcaline; mais ils ont conservé leurs formes, et on reconnaît aisément les stries musculaires au microscope. A est, au contraire, un putrilage horrible, et l'on n'y peut retrouver les stries.

Expérience CCCCV. — 28 mai. Viande en morceaux, dans 2 matras étirés à la lampe et ouverts à l'extrémité.

A. Laissé à l'air libre.

B. Mis à 8 atmosphères suroxygénées.

L'appareil perdant, on recomprime à plusieurs reprises, jusqu'à 25 atmosphères suroxygénées; pendant plusieurs jours la pression reste à 15 atmosphères.

26 *juin*. — A est horriblement pourri, et depuis longtemps.

B. Ne sent rien; est de couleur ambrée.

28 *juin*. Je présente le matras B à l'Académie des sciences ; je l'ouvre en séance : la viande est neutre et n'a qu'une légère odeur aigrelette, pas désagréable.

Je rebouche le matras sans soin, avec un bouchon *échancré*, et le rapporte au laboratoire.

3 *juillet*. Aucune odeur.

11 *juillet*. Très-légère odeur.

19 *juillet*. La viande est couverte de moisissures, mais ne sent nullement le pourri.

Expérience CCCCVI. — 29 novembre. Pression barométrique 758^{mm};

temp. 14°. Au sommet de trois cloches sont suspendus des morceaux de viande pesant chacun 25gr. Une dissolution de potasse au fond de chaque cloche absorbera l'acide carbonique au fur et à mesure de sa production.

Le bouchon de la cloche laisse passer un tube coudé, dont l'extrémité plongeant dans du mercure servira de manomètre.

La cloche A (4l,6) contient de l'air normal.

La cloche B (1l,9) contient de l'air à 45,5 pour 100 d'oxygène.

La cloche C (1l,5) — 91,7 —

4 décembre. On ouvre les cloches et on analyse l'air ; la pression barométrique est 735mm ; temp. 14°. La viande de la cloche C sent moins mauvais que les autres ;

L'absorption de CO^2 a amené une dépression de 2c,7 dans la cloche A, une de 10c en B, de 10c en C. Il n'y a nulle part d'acide carbonique.

L'air de A ne contient plus que 17,2 d'oxygène ; celui de B que 35,3 ; celui de C en contient encore 91,5.

Des calculs simples, dans lesquels on tient compte de la pression barométrique et de la différence de tension dans les cloches, montrent que :

A qui avait à sa disposition	961cc	d'oxygène en a consommé	258
B	—	867cc	—	284
C	—	1376cc	—	183

Si nous envisageons d'abord celles de nos expériences qui ont porté sur la diminution de pression, nous voyons d'une manière nette que dans l'air raréfié la putréfaction a été notablement ralentie et l'oxydation diminuée.

Ainsi, dans l'expérience CCCXCII, tandis qu'un certain poids de muscles avait, dans un certain temps, à la pression normale consommé 524cc d'O. et formé 514cc de CO^2, la consommation d'O. s'était à demi-atmosphère abaissée à 343cc, et production de CO^2 à 418. Même résultat à l'expérience CCCXCVIII, où la consommation d'O. s'est abaissée de 550cc à 300, pour le même écart de pression ; de plus, la viande maintenue dans l'air déprimé sentait bien moins mauvais que l'autre. Enfin, dans l'expérience CCCXCIX, à un tiers d'atmosphère, la consommation d'O. a été juste un tiers de celle à la pression normale.

Mais ces résultats n'ont rien de bien extraordinaire ; l'on savait depuis longtemps que la putréfaction n'a pas lieu dans le vide, et il était tout naturel de penser qu'elle serait d'autant moins active que l'air serait plus raréfié.

Les effets de l'augmentation de tension de l'oxygène étaient bien plus intéressants à étudier.

Le fait le plus saillant que m'aient présenté les expériences, c'est que, dans l'air suffisamment comprimé, la putréfaction ne se fait pas, aucune odeur désagréable ne se manifeste, et le muscle conserve, sauf sa couleur, son aspect normal ; sa structure microscopique n'est point sensiblement altérée (Exp. CCCXCIII et CCCCIV).

Presque toutes les expériences ci-dessus rapportées présentent des exemples remarquables de ce fait.

Mais ce n'est pas tout : lorsqu'on laisse échapper l'excès de pression, et qu'on prend des précautions suffisantes pour se mettre à l'abri des germes apportés du dehors, la putréfaction n'apparaît plus ; si bien que pendant des semaines, des mois, on peut conserver, à la pression normale, de la chair à l'état frais. J'appelle particulièrement l'attention à ce point de vue sur les expériences où j'ai fait cuire et manger des viandes ainsi conservées depuis 20 jours (Exp. CCCXCI), ou un mois (Exp. CCCLXXXVIII).

Pour arriver à des résultats concluants et constants, les plus grandes précautions de détail sont nécessaires. Je ne les prenais pas toujours au début ; d'où résultent, dans certaines des expériences qui précèdent, et dans d'autres sur le sang, le lait, etc., d'apparentes exceptions que j'ai tenu à mentionner cependant, parce qu'elles sont instructives.

Ainsi, dans mes premières expériences, lorsque je voulais conserver une substance, après l'avoir soumise à la compression, je fermais d'un bon bouchon de liége le flacon où elle était placée ; ce bouchon était percé d'un trou, et lorsque j'avais retiré le flacon de l'appareil, j'appliquais sur cet orifice fin une goutte de cire fondue, avec laquelle, du reste, je cachetais tout le bouchon.

Je ne tardai pas à apprendre que cette précaution était insuffisante. Les bouchons, même neufs, même lavés, même chauffés, recèlent trop souvent des germes encore en activité. J'eus alors recours aux matras, ballons, tubes, que j'étirais à la lampe, après y avoir introduit la substance en expérience ;

le trou presque capillaire de la partie étirée permettait à l'équilibre de pression de s'établir.

Je m'aperçus encore, à mes dépens, que les germes restés à l'état sec sur les parois du petit récipient suffisaient, surtout quand il s'agissait de la putréfaction, mon laboratoire de dissection en étant bourré, pour troubler les phénomènes. Je ne pouvais me mettre sûrement à l'abri qu'en ajoutant un peu d'eau et en remuant avec soin le récipient, avant de le soumettre à la compression, afin de tuer en même temps et les germes contenus dans la substance, et ceux des parois qui se trouvaient mouillés.

Il ne faudrait pas croire cependant, je me hâte de le dire, que ce procédé de conservation puisse avoir une valeur pratique; les viandes qui ont été comprimées présentent une saveur fade qui les rend fort peu agréables. Elles doivent probablement ce goût en partie à l'acide qui s'y développe pendant la compression : acide non volatil, non odorant, et qui est probablement de l'acide lactique.

Cette chair, qui ne se putréfie pas, absorbe infiniment moins d'oxygène que celle qui reste dans les conditions normales. Cela a été étudié particulièrement dans les expériences CCCLXXXVI et CCCLXXXVII.

Mais l'exemple le plus remarquable est fourni par l'expérience CCCXCI, où, en 20 jours, la viande placée sous une compression d'oxygène équivalant à 44 atm. d'air, n'a pas consommé d'oxygène ni produit d'acide carbonique; tandis qu'un même poids de la même viande laissé à la pression normale avait consommé $3^l,5$ d'oxygène et formé 3^l d'acide carbonique.

Si on laisse échapper l'excès de pression, et qu'on prenne les précautions suffisantes pour empêcher l'accès des poussières aériennes, la viande qui se conservera indéfiniment, ainsi que nous venons de le dire, ne consommera plus que de très-faibles quantités d'oxygène. C'est ce que montre nettement l'expérience suivante :

Expérience CCCCVII. — 20 février. On met dans 15 tubes, 15 morceaux de viande pesant chacun 1^{gr}. Ces tubes sont ensuite étirés à la lampe et soumis dans l'appareil en fer, à 15 atmosphères très-suroxygénées.

3 *mars*. On décomprime avec précaution et l'on ferme à la lampe les 15 tubes. L'analyse de 3 d'entre eux, faite aussitôt, donne de 70 à 80 pour 100 d'oxygène.

13 *mars*. On brise un des tubes sous le mercure; viande ambrée, pas d'odeur, réaction acide. On trouve 6,2 pour 100 d'acide carbonique et 77,8 d'oxygène.

Le morceau de viande est alors placé sans précautions dans un tube bouché avec un bouchon (*a*).

On place de même, dans un autre tube, 1gr de muscle frais (*b*).

19 *mars*. Le morceau (*a*) n'a produit que très-peu de CO^2 et consommé peu d'oxygène. Le morceau (*b*) a consommé tout l'oxygène du tube, soient 7cc.

27 *mars*. Un autre tube, ouvert de même sous le mercure, contient 11,0 pour 100 de CO^2 et 74,2 d'oxygène.

On met le morceau de viande dans un tube gradué plein d'air bien bouché (*c*); un autre morceau, frais, du même poids, est renfermé de même dans un tube gradué de même capacité (*d*).

10 *avril*. Le tube *c* contient 1cc,6 de CO^2 et 2cc,8 d'O., soient 7,3 de CO^2 et 12,7 d'O. pour 100; le tube *d* 6cc,2 de CO^2 et 0cc,2 d'O., soient 28 pour 100 de CO^2 et 0,6 seulement d'O.

Ces résultats concordent avec ceux des expériences de M. Pasteur, montrant que la consommation d'oxygène par les substances organiques est extrêmement faible, quand on empêche les êtres vivants microscopiques de s'y développer. Aux preuves qu'il a fournies, je joindrai l'expérience suivante, où l'action des antiseptiques a donné le même résultat que celui de l'oxygène à haute tension :

Expérience CCCCVIII. — 26 juin. — A. 14 grammes de muscles avec un peu d'eau sont placés dans un flacon bouché, contenant 590cc d'air, et renversé sur l'eau.

B. 40 grammes, dans un flacon de 750cc, sont arrosés de quelques gouttes d'acide phénique et agités ensuite. Le flacon est bouché et renversé à côté de A.

C. 40 grammes; flacon de 780cc ; j'y ajoute 2 grammes de chloral qui, en se dissolvant, blanchissent la chair; bien agité, bouché, renversé près des autres.

12 *juillet*. — A. Est pourri; exhale une odeur infecte; l'air (forte explosion quand on débouche sous le mercure, en telle sorte qu'une partie du gaz ne peut être recueilli sous l'éprouvette) contient 35 pour 100 de CO^2, mais plus trace d'oxygène.

B. Aucune odeur de putréfaction; l'air contient 18,6 pour 100 d'oxygène et 1,1 pour 100 de CO^2.

C. Aucune odeur; l'air contient 18,1 d'oxygène et 0,9 de CO^2.

Ainsi, en rapportant les chiffres à 100 grammes de muscles, on voit que ceux qui se sont putréfiés ont épuisé les 880^{cc} d'oxygène qu'ils avaient à leur disposition, et formé 1512^{cc} de CO^2 (sans compter ce qui s'est échappé en débouchant le flacon) ; au contraire, 100 grammes conservés par l'acide phénique ont seulement consommé 35^{cc},1 d'oxygène et formé 21^{cc},9 de CO^2 ; 100 grammes conservés par le chloral ont consommé 35^{cc},3 d'oxygène et formé 15^{cc},0 de CO^2.

Revenons maintenant à l'action de l'oxygène, et prenons comme mesure de l'intensité des phénomènes de la putréfaction la consommation de ce gaz dans un temps donné.

Nous ferons observer ici que nous nous appuyons à la fois sur les expériences faites dans l'air comprimé, et sur celles où la forte tension de l'oxygène a été obtenue en augmentant non la pression, mais la proportion centésimale, sous la pression barométrique ordinaire. Nous sommes suffisamment autorisé à cette identification par tout ce que nous avons vu jusqu'ici.

L'expérience CCCXCII nous montre que la quantité d'oxygène consommé augmente avec une tension correspondant à 2 et même à 3 atmosphères d'air ; les expériences CCCXCIX et CCCCI donnent le même résultat pour 3 atmosphères ; mais l'expérience CCCXCI indique, dans sa première partie, qu'il y a décroissance à la tension de 4 1/2 atmosphères ; enfin, l'expérience CCCCII montre égalité de consommation à 4 atmosphères.

Il semble donc, tout d'abord, que le maximum de consommation de l'oxygène s'opère entre 3 et 4 atmosphères. Mais la question est plus difficile à résoudre qu'on ne le croirait tout d'abord, et nécessite des expériences conduites avec des précautions particulières. En effet, dans l'expérience CCCXCII, par exemple, l'air de la cloche D, dont la tension oxygénée correspondait au début à 3 atmosphères d'air, et où il y a eu oxydation plus active, ne correspondait plus à la fin de l'expérience qu'à moins de 2 atmosphères. Il faut donc employer ici un artifice expérimental qui permette de maintenir pendant tout le temps de l'expérience la même tension de l'oxy-

gène et de se débarrasser de l'acide carbonique au fur et à mesure de sa production.

Pour y parvenir, j'ai monté l'appareil représenté par la figure 74.

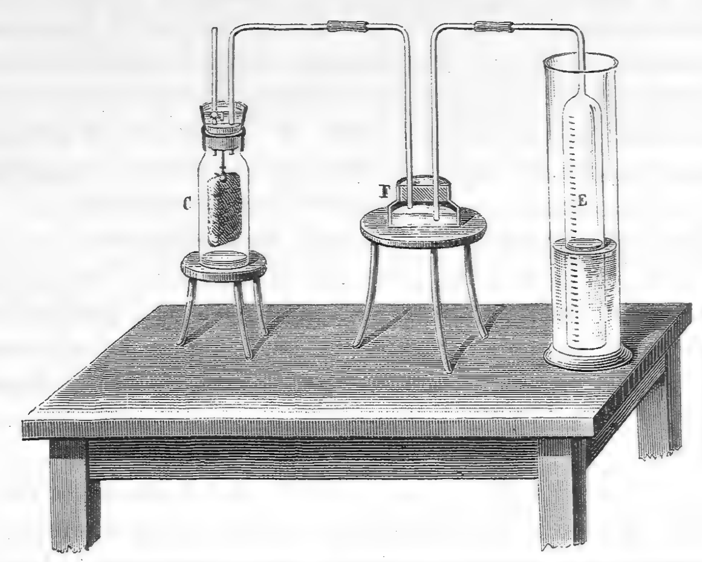


Fig. 74. — Consommation d'oxygène et production de CO^2 par un morceau de viande dans une atmosphère de richesse oxygénée constante.

C'est un flacon C (quelquefois une cloche) plein d'un mélange suroxygéné, dosé à l'avance ; dans le fond se trouve une dissolution de potasse dont l'acide carbonique a été également titré à l'aide de la pompe à mercure. On y a suspendu le morceau de viande, de poids connu. L'absorption de l'oxygène et la fixation du CO^2 ont pour effet de faire rentrer dans le flacon, bulle à bulle, l'oxygène pur contenu dans une éprouvette graduée E ; un flacon-soupape P s'oppose au reflux de l'air du flacon pour le cas où son volume augmenterait (température, diminution de pression, etc.). On dispose ainsi plusieurs appareils qui fonctionnent simultanément, et dans des conditions identiques, sauf la composition plus ou moins riche en oxygène de l'air des flacons. L'expérience terminée, l'analyse de l'air des flacons, la hauteur de la colonne d'eau

dans l'éprouvette, la quantité de CO^2 contenue dans la potasse donnent tous les éléments du problème.

Mais il fallait avant tout établir le degré d'exactitude de ce procédé expérimental. La critique a pu être faite aisément en employant de l'air ordinaire et en faisant plusieurs expériences simultanées dans des conditions identiques. En voici le résultat :

EXPÉRIENCE CCCCIX. — 18 janvier. Morceaux de viande pesant 25gr, dans 4 cloches égales avec de l'air ordinaire.

22 *janvier*. L'analyse des solutions de potasse montre que la production d'acide carbonique a été de 195cc,8 ; 197cc,8 ; 204cc,8 ; 206cc,8.

La cause d'erreur est donc, pour l'acide carbonique, d'environ 5 pour 100.

Voyons maintenant ce que donnent les expériences :

EXPÉRIENCE CCCCX. — 4 janvier. Pression 745mm ; temp. 16°. Morceau de viande pesant 25gr, au sommet de 2 cloches:

A contient de l'air normal

B de l'air 49,6 pour 100 d'oxygène.

7 *janvier*. On trouve, par l'analyse des cloches et des solutions potassées, que :

A a produit 232cc de CO^2.

B — 245cc. —

EXPÉRIENCE CCCCXI. — 24 janvier. Pression 761mm; temp. 12°. Même disposition d'expérience, 3 cloches. Elles contiennent : A air ordinaire, B air à 53 pour 100 d'oxygène, C air à 79,7 pour 100.

Le 29 *janvier*, analysé les potasses.

A a produit 223cc d'acide carbonique.

B — 270cc —

C — 250cc —

EXPÉRIENCE CCCCXII. — 1er février. Au lieu de cloches, de volumes inégaux, on emploie les flacons de petite dimension, comme il est représenté dans la figure 74.

Dans le flacon A est de l'air ordinaire ; en B, de l'air à 37,3 pour 100 d'oxygène; en C, de l'air à 61,2 pour 100 ; en D, de l'air à 81 pour 100.

7 *février*. Arrêté l'expérience ; l'analyse des solutions de potasse montre que :

A a produit 317cc d'acide carbonique.

B — 326cc —

C — 393cc —

D — 328cc —

EXPÉRIENCE CCCCXIII. — 14 février θ = 16°. Mêmes appareils.
Dans le flacon A, air ordinaire
— B, air à 41,5 pour 100 d'oxygène.
Le 17 *février*, arrêté l'expérience :
A a produit 130cc d'acide carbonique.
B — 178cc —

Si nous appelons 100 dans chacune de ces expériences, la quantité d'acide carbonique produite sous la pression normale, nous obtiendrons, par de simples proportions, les chiffres suivants, qui indiquent la marche de la production d'acide carbonique :

	Air ordinaire	(1 atmosph.),	il y a	100cc	d'acide carbonique.
CCCCXII.	Air à 37,3 d'O.	(1,8 —),	—	103cc	—
CCCCXIII.	— 41,5 —	(2 —),	—	129cc	—
CCCCX.	— 49,6 —	(2,3 —),	—	106cc	—
CCCCXI.	— 53 —	(2,5 —),	—	121cc	—
CCCCXII.	— 61,2 —	(2,9 —),	—	124cc	—
CCCCXI.	— 79,7 —	(3,8 —),	—	112cc	—
CCCCXII.	— 81 —	(3,9 —),	—	103cc	—

Il résulte de ces chiffres que le maximum de combustion des tissus a lieu au-dessus de la pression normale, et se trouve aux environs de trois atmosphères. C'était déjà le résultat auquel nous étions arrivé dans le sous-chapitre II du chapitre IV, pour les combustions examinées chez les êtres vivants.

Quand les pressions deviennent très-fortes, la diminution des oxydations des tissus devient extrêmement manifeste. Ainsi, à 23 atmosphères, la proportion d'oxygène consommé a diminué dans le rapport de 534 à 32 (Expér. CCCLXXXVII). Dans l'expérience CCCXCVI, la consommation à la pression normale a été en 5 jours de 522cc d'oxygène, tandis qu'il n'y en a eu que 49cc dans l'air comprimé à une tension correspondant à 42,5 atmosphères d'air, et que, dans les 9 jours d'été suivants, où la tension avait cependant été abaissée à 11 atmosphères, il n'y a eu que 240cc d'oxygène consommé.

On voit donc que la valeur en tension, sous laquelle commencent à diminuer les oxydations rapides dues aux ferments de la putréfaction, coïncide précisément avec celle où l'action funeste de l'oxygène commence à faire sentir ses effets. Les

éléments anatomiques d'une organisation complexe sont donc impressionnés à la même dose que ceux qui vivent isolés, sous forme de microzoaires ou de microphytes. Nous trouverons de nouvelles confirmations de ces faits quand nous nous occuperons de l'action de l'oxygène comprimé sur les végétaux et la germination.

De même, l'expérience CCCLXXXVI nous montre que la pression de 21 atmosphères tue complétement les êtres microscopiques de la putréfaction, comme elle tue les animaux supérieurs.

Ajoutons enfin que la viande qui s'est ainsi conservée intacte, pendant la compression et après la compression, n'en reste pas moins un excellent terrain pour le développement des êtres microscopiques, et que la putréfaction s'y établit rapidement, lorsqu'il arrive à leur contact, en quantité suffisante, des germes apportés par l'air. L'expérience CCCXCIV, où la pénétration dans le flacon a eu lieu par une fissure imperceptible du bouchon, est tout à fait caractéristique. Mais pour les êtres microscopiques, comme pour ceux de grande dimension, la récolte est proportionnelle à l'ensemencement; il n'est donc pas étonnant que, dans ces conditions, la putréfaction des viandes qui ont été comprimées se fasse avec une certaine lenteur (Exp. CCCCVII), et que, même dans certains cas (Exp. CCCCV), les hasards de l'expérience ayant fait entrer dans les tubes des germes de moisissures, et non des vibrions de la putréfaction, celle-ci ait été remplacée par une végétation microscopique.

Il m'est arrivé quelquefois de voir des viandes maintenues en vases bouchés à la lampe, après la phase de compression oxygénée, se bien conserver pendant des semaines et des mois, puis entrer en putréfaction ; c'est ce que montrent, par exemple, les expériences CCCXCVII et CCCCIV. Dans ce cas, à mon sens, l'oxygène n'a pas tué tous les vibrions de la putréfaction ; il en a laissé quelques-uns, simplement malades, comme engourdis, et qui reprennent avec le temps une activité nouvelle. C'est ce qui arrive également, lorsqu'on a chauffé de la viande à une température notablement inférieure à l'ébulli-

tion ; c'est ce qui arrive, lorsqu'on laisse, dans un appareil où le vide a été fait par l'ébullition, rentrer de l'air à travers du coton cardé, si le filtre n'a pas été suffisant ; c'est ce qui arrive, en un mot, toutes les fois que les ferments sont ou en très-petit nombre, ou altérés par quelque circonstance étrangère.

J'ai dû nécessairement étudier la putréfaction de quelques autres substances. Je transcris ici mes expériences :

B. — *Sang.*

Expérience CCCCXIV. — 9 juin. Sang de chien, défibriné.

A. 30^{cc} sont placés dans un flacon, à la pression normale.

B. 30^{cc} dans un autre flacon fermé par un bouchon percé. Placé dans l'appareil en fer et poussé à 12 atmosphères suroxygénées.

La pression tombe les jours suivants, et on ne peut la maintenir qu'à 8 atmosphères.

Le 13 *juin*. On décomprime et cachète B.

Le 18 *juin*. — A. Odeur horrible ; B. Un peu d'odeur.

Expérience CCCCXV. — 19 juin 1874. Sang de chien, frais, défibriné.

A. Dans flacon bouché, air ordinaire.

B. Flacon bouché d'un bouchon de liége percé, soumis, après agitation, à 20 atmosphères suroxygénées, équivalant à 88 atmosphères d'air.

24 *juin*. — A. Sent horriblement mauvais.

B. Décomprimé, ne sent rien, et est translucide, laqué ; je cachète à la cire l'orifice du flacon.

6 *juillet*. — A. Couche ridée à la surface ; odeur repoussante. Pas de globules visibles ; vibrions à point terminal brillant, assez nombreux, et aussi bâtonnets immobiles ; cristaux d'hémoglobine.

B. Le sang est redevenu un peu trouble ; pas de couche blanche à la surface ; odeur étrange, très-faiblement putride. Globules sanguins roses et extraordinairement pâles ; pas de cristaux ; quelques rares vibrions à point brillant.

12 *juillet*. — B. Toujours pas d'odeur putride.

On remet simplement sur B son bouchon, sans cacheter à nouveau. Dans les mois qui suivent, on l'ouvre fréquemment et le referme sans précaution ; il arrive même que le bouchon tombe à terre et est remis en place sans autre soin. Cependant l'odeur putride n'apparaît pas nettement.

16 janvier 1875. Présenté à la Société de Biologie.

A. Est horriblement putride.

B. Peut être flairé sans dégoût, mais sent cependant un peu.

Expérience CCCCXVI. — 21 juillet. Sang de chien, défibriné.

En quantités égales dans :

A. Matras bouché avec un bouchon de liége.

B. Matras semblable étiré à la lampe ; celui-ci est soumis à 15 atmosphères suroxygénées.

22 *juillet*. — A. Commence à sentir mauvais.

B. Pression tombée ; je retire B et l'agite pour mouiller les parois du matras ; je repousse ensuite à 8 1/2 atmosphères suroxygénées.

23 *juillet*. Monté à 12 atmosphères.

24 *juillet*. Monté à 15 atmosphères.

30 *juillet*. — A. Sent horriblement mauvais.

B. Encore 14 atmosphères ; décomprimé ; aucune odeur ; fermé à la lampe le bout effilé du matras.

Une goutte de ce sang, examinée au microscope, ne présente plus de globules ; aussi est-il d'aspect laqué.

Ainsi, par l'effet de la compression, quand l'expérience a été bien conduite, le sang se conserve sans se putréfier, dans l'air comprimé et à sa sortie de l'air comprimé. La seule altération consiste dans l'aspect laqué qu'il prend, aspect dû à ce que l'hémoglobine quitte les globules pour se dissoudre dans le sérum. C'est ce qui arrive, du reste, toujours au sang mort, et que présente même le sang putréfié en vases clos, après que la fermentation putride est terminée.

Non-seulement les vibrions sont ainsi tués avant de commencer leur œuvre ; mais lorsqu'on comprime du sang en pleine putréfaction, on voit celle-ci s'arrêter, et l'odeur caractéristique diminuer jusqu'à disparaître.

Mais les expériences sur le sang présentent une difficulté sur laquelle il est intéressant de dire dès maintenant quelques mots, parce qu'elle m'a fait échouer au début dans nombre d'expériences, et qu'elle pourrait, si je ne la signalais, jeter de l'incertitude dans l'esprit de ceux qui voudront contrôler mon travail.

Il m'est arrivé fréquemment de voir du sang qui s'était bien conservé dans l'appareil, pourrir rapidement à la pression normale, même dans des vases soigneusement fermés à la lampe. En examinant ces faits avec soin, je reconnus que cela n'arrivait que pour les expériences faites dans des tubes, jamais pour celles faites dans des matras. Cette singularité tient, comme je le soupçonnai aussitôt, à ce que l'épaisseur

de la couche sanguine est différente dans les deux procédés opératoires.

Je m'aperçus alors que l'oxygène, même aux plus hautes tensions, ne pénètre dans le sang qu'à une faible profondeur. Exemple :

EXPÉRIENCE CCCCXVII. — 2 décembre. 100^{cc} de sang sont placés dans une éprouvette à pied ; ils occupent 10^{c} de hauteur ; compression dans la bouteille à mercure à 20 atmosphères suroxygénées.

6 *décembre*. Décompression instantanée ; il se dégage très-peu de gaz du liquide ; pas de mousse.

Le sérum surnageant occupe une hauteur de 3^{c} ; au-dessous une couche sanguine très-rouge de 3^{c} ; le reste du sang est tout à fait noir.

Il est donc de toute évidence qu'il ne peut y avoir excès d'oxygène que dans les couches superficielles du liquide, et que, par suite, les vibrions placés dans les couches profondes ne seront pas impressionnés par l'oxygène, ou ne le seront que faiblement. De là la putréfaction qui apparaît plus ou moins vite, et que j'ai vue même dans un cas apparaître pendant la compression ; les inégalités dépendent de circonstances multiples dans la complication desquelles la hauteur de la colonne employée se détache par sa netteté. On ne devra jamais employer du sang sur une épaisseur de plus de un demi-centimètre, pour être absolument certain de réussir.

C. — *Œufs*.

EXPÉRIENCE CCCCXVIII. — 19 juin. Œufs battus et bien agités.

Placés en quantités égales dans :

A. Flacon bouché, air ordinaire.

B. Flacon bouché d'un bouchon de liége percé, soumis, après agitation, à 20 atmosphères suroxygénées, équivalant à 88 atmosphères d'air.

24 *juin*. — A. Infect, avec moisissures à la surface.

B. Décomprimé, ne sent rien. On trouve le flacon débouché, par l'expansion des gaz ; il faut remettre le bouchon, après l'avoir taillé. Le flacon reste ainsi environ 5 minutes ouvert à l'air libre. Je cachète avec soin.

28 *juin*. — A. Est complétement brouillé.

B. Paraît sain, le jaune surnage nettement.

6 *juillet*. — A. Horrible odeur ; le bouchon saute quand on l'ouvre ; l'œuf est tout brouillé et vert.

B. On voit encore deux couches ; jaune verdâtre ; pas d'odeur ; il y a des moisissures sur la face inférieure du bouchon.

12 *juillet.* — B, qu'on a rebouché sans précaution, n'a pas d'odeur putride.

Expérience CCCCXIX. — 21 juillet 1874. Œuf battu.

A. Dans matras bouché avec bouchon de liége.

B. Dans matras semblable, étiré à la lampe. Celui-ci est soumis à 15 atmosphères suroxygénées, agité.

30 *juillet.* — A. Sent horriblement mauvais et est brouillé.

B. Décomprimé ; ne sent rien, et ses deux couches sont très-nettement séparées. Je ferme à la lampe.

Au bout de quelques mois, B commence à se coaguler en masse.

18 *janvier* 1875. — A. Odeur horrible ; n'est qu'un magma verdâtre, très-alcalin.

B. J'ouvre le matras ; l'œuf est coagulé entièrement ; jaune rougeâtre ; aucune odeur désagréable ; réaction nettement acide.

Expérience CCCCXX. — 29 mai. Œuf battu.

A. Dans matras ouvert, coiffé d'un cornet de papier ; pression normale.

B. Dans matras étiré à la lampe. Poussé à 23 atmosphères suroxygénées.

5 *juin.* — A. Exhale une odeur horrible.

L'appareil à compression a perdu ; je l'ai rechargé à plusieurs reprises ; il retombe définitivement à 5 atmosphères.

26 *juin.* Décompression.

A. Est coagulé, infect, avec couche noire au fond du verre.

B. Est divisé en deux couches très-nettes, non coagulées, sans aucune odeur.

Expérience CCCCXXI. — 17 mars. Œufs battus, dans 2 tubes.

A. Bouché avec un bouchon, air libre.

B. Effilé à la lampe ; à 15 atmosphères d'un air contenant 80 pour 100 d'oxygène.

26 *mars.* Décompression.

A. Odeur infecte ; coagulation ; je bouche à la lampe.

B. Aucune odeur ; liquide en deux couches nettement distinctes ; fermé à la lampe.

15 *mai.* — A. Explosion en ouvrant le tube ; odeur infecte ; végétation à la surface.

B. Pas coagulé ; pas d'explosion en ouvrant le tube ; acidité très-légère ; odeur aigrelette agréable, ressemblant à celle du cidre ; pas de végétation à la surface ; refermé à la lampe.

10 *juin.* Explosion spontanée du tube B ; cependant peu d'odeur ; matière acide, coagulée.

Les œufs ne pourrissent donc ni pendant ni après la décompression, quand on les met à l'abri des germes de l'air. Mais à la longue, ils finissent par prendre une réaction acide

qui, sans développer d'odeur, fait coaguler leur albumine. Il y aurait là un phénomène chimique des plus intéressants à étudier dans ses détails.

Ces diverses expériences démontrent donc de la manière la plus nette que lorsqu'on prend les précautions expérimentales sur lesquelles j'ai insisté, la viande, les œufs, le sang, c'est-à-dire les plus altérables des matières, sont conservées sans putréfaction par l'oxygène à haute tension. Retirées de l'appareil et maintenues en vases clos, elles y restent indéfiniment sans se putréfier, mais en subissant certaines altérations qui les rendraient impropres aux usages habituels.

§ 2. — **Coagulation du lait.**

Le lait, que j'ai mis en expérience au double point de vue de sa putréfaction et de sa coagulation, m'a, sous ce dernier rapport, longtemps embarrassé :

Expérience CCCCXXII. — 8 août. Lait, mis dans 3 petites bouteilles bien lavées.

A. Laissé à la pression normale.

B. Placé dans un récipient à compression, poussé à 4 atmosphères d'air.

C. Poussé à 7 atmosphères d'un air à 70 pour 100 d'oxygène, équivalant à 24 atmosphères d'air.

15 *août*. — A. B. C. Lait acide ; caillot partout.

Expérience CCCCXXIII. — 27 janvier. Lait placé dans 2 petites bouteilles semblables.

A. Fermée avec un bouchon de liége.

B. De même, mais le bouchon est traversé par un tube de verre capillaire ; la bouteille est soumise, dans le récipient cylindrique en verre, à une pression de 10 atmosphères, avec un air contenant 84 pour 100 d'oxygène. La tension de l'oxygène, 840, équivaut donc à 42 atmosphères d'air.

B. Paraît se cailler un peu plus tard que A.

3 *février*. Décomprimé B et bouché le trou avec de la cire brûlante. A et B ont le même aspect.

22 *mai*. — A. Le bouchon saute quand j'ouvre le flacon. Odeur butyrique très-forte ; réaction très-acide. On y voit de nombreux vibrions très-vivaces, dont quelques-uns ovales et larges.

B. Le bouchon ne saute pas ; très-légère odeur butyrique, réaction très-acide. Rares vibrions en bâtons, très-petits et remuants.

Expérience CCCCXXIV. — 22 mai. $\theta = 18°$. Lait bouilli, placé dans quatre flacons bien lavés avec de l'eau chaude et alcaline.

A, A', deux flacons bien bouchés et cachetés.

B, B', deux flacons, bouchés d'un bouchon de liége percé d'un trou, poussés à 10 atmosphères d'un air à 70 pour 100 d'oxygène, ce qui correspond à 35 atmosphères d'air.

24 *mai*. Décomprimé B, B' et bouché les trous à la cire fondue.

Les quatre flacons paraissent caillés au même degré.

Expérience CCCCXXV. — 26 mai. Lait bouilli, additionné d'eau alcalinisée avec du carbonate de soude.

A, A'. Deux flacons sont bouchés et cachetés.

B, B'. Deux autres, dont le bouchon est percé d'un trou, sont mis dans l'appareil cylindrique en verre sous 10 atmosphères d'air à 70 pour 100 d'oxygène : soit 35 atmosphères d'air.

1er *juin*. AA' est en partie coagulé.

BB' l'est à peine.

3 *juin*. Décomprimé BB' et bouché les trous à la cire fondue.

Le liquide est moins nettement coagulé à BB' qu'à AA'.

26 *juin*. BB' sont moins nettement coagulés que AA'.

BB' sont neutres ou à peine acides.

AA' sont extrêmement acides.

Expérience CCCCXXVI. — 7 août 1874. Lait bouilli, introduit dans deux matras, dont le liquide n'occupe qu'une faible partie :

A, bouché avec un bouchon de liége neuf et bien chauffé.

B, étiré à la lampe, sauf un petit trou à l'extrémité ; porté et maintenu entre 8 et 12 atmosphères suroxygénées.

17 *août*. A, caillot jaunâtre avec moisissures ; infect.

B, décomprimé, fermé à la lampe ; caillot blanc.

18 *janvier* 1875. A, masse jaunâtre avec pellicule jaune foncé. Sent mauvais ; réaction alcaline.

B, caillot bien blanc et bien net ; ne sent pas mauvais.

Expérience CCCCXXVII. — 7 août 1874. Lait bouilli, additionné d'eau alcaline ; disposé comme le précédent ; l'un des matras, B, placé à côté de celui de l'expérience ci-dessus.

Le 17 *août*, à la décompression, même différence dans l'aspect général.

18 *janvier* 1875. A, infect ; jaunâtre avec pellicule jaune ; alcalin.

B, odeur fraîche, aigrelette ; caillot blanc et net ; réaction bien acide.

Expérience CCCCXXVIII. — 20 janvier. Lait bouilli, dans des tubes, étendu d'eau.

A, pression normale.

B, 21 atmosphères suroxygénées ; tube étiré à la lampe.

La pression tombe à plusieurs reprises.

25 *janvier*. On décomprime.

17 *mai*. A, odeur infecte ; moisissures épaisses à la surface ; liquide jaunâtre avec caillots.

B, très-légère odeur butyreuse, non désagréable ; acide ; liquide très-blanc avec grumeaux ; on reconnaît au microscope quelques globules de lait.

Expérience CCCCXXIX. — 20 janvier. Lait additionné d'une solution de soude.

Expérience faite en même temps que la précédente.

17 *mai*. Le lait non comprimé a une odeur infecte ; l'autre ne sent rien.

Expérience CCCCXXX. — 16 mars. Lait bouilli, dans des tubes.

A, pression normale.

B, à 10 atmosphères suroxygénées, dans l'appareil cylindrique en verre.

18 *mars*. Le lait caille sensiblement en même temps à A et à B.

On voit que, pour le lait comme pour les autres substances, la putréfaction a été arrêtée par l'air comprimé : à la condition de renoncer aux bouchons, et d'employer exclusivement des tubes ou des matras bouchés à la lampe.

Mais la coagulation n'a pas été empêchée, ni l'acidification rapide ; ces altérations n'ont même pas paru retardées d'une manière appréciable. Une forte alcalinisation préalable du lait ne les a pas arrêtées non plus ; cependant, dans ce cas, un retard évident a été obtenu.

Serait-ce que vraiment l'oxygène en tension serait sans action sur les vibrions lactiques découverts par M. Pasteur ? ou bien la coagulation du lait ne serait-elle pas l'œuvre de ces êtres microscopiques, mais bien de quelque agent invulnérable à l'oxygène, comme le sont, ainsi que nous le verrons, les ferments solubles ?

Avant de donner une réponse à ces questions, je devais réfléchir à la cause d'erreur expérimentale que m'avaient fait connaître les expériences sur le sang. L'épaisseur des couches liquides que doit saturer l'oxygène comprimé pour accomplir son œuvre destructive pouvait jouer ici un rôle considérable.

Il fallait éliminer cette influence fâcheuse; c'est ce que j'ai fait, par exemple, dans les expériences suivantes :

Expérience CCCCXXXI. — 10 août. Lait bouilli; mis en couche de 2 à 3 millimètres d'épaisseur dans deux cristallisoirs neufs et bien lavés :
A, à l'air libre, sous un verre qui arrête les poussières;
B, à 25 atmosphères d'air suroxygéné.
14 *août*. Décomprimé.
A est coagulé depuis le 11 et sent très-mauvais.
B est liquide, ne sent aucune odeur et paraît tout à fait normal.

Expérience CCCCXXXII. — 25 mai. Au fond de 6 tubes on fait tomber avec précaution quelques gouttes de lait bouilli (hauteur 1/2 cent.).
A. 2 tubes sont fermés à la lampe et gardés comme témoins.
B. Les 4 autres, étirés mais ouverts, sont soumis à 15 atmosphères suroxygénées dans le cylindre en verre.
1er *juin*. Décomprimé.
A est coagulé depuis le 27 mai.
B ne l'est pas : fermé à la lampe.
6 *juin*. B, pas encore coagulé.

Ces expériences prouvent d'une manière bien nette que l'oxygène en tension empêche la coagulation du lait, c'est-à-dire tue les vibrions qui donnent la fermentation lactique. Comme l'action de ces êtres se fait très-rapidement, il est nécessaire, pour l'arrêter, d'employer l'oxygène à très-haute dose, en présence d'une mince couche de liquide, qu'il faut saturer rapidement. Pour la putréfaction, qui s'opère beaucoup plus lentement, ces précautions excessives ne sont pas nécessaires; le lait ne consommant pas, comme le sang, l'oxygène au fur et à mesure qu'il pénètre le liquide, ce gaz a le temps d'aller jusqu'au fond des tubes, et d'y tuer les agents putrescibles. C'est ce qui explique comment on peut si facilement, par l'air comprimé, empêcher le lait de se putréfier, et si difficilement de se coaguler.

§ 3. — **Altération de l'urine.**

Depuis les recherches de M. Van Tieghem, on sait que la transformation de l'urée en carbonate d'ammoniaque est une

fermentation vraie, due au développement d'un microphyte, d'une torulacée.

J'ai donc dû l'étudier avec quelques détails :

Expérience CCCCXXXIII. — 8 août. $\theta = 27°$. Urine de la veille, bien acide; en quantités égales dans trois petites bouteilles coiffées d'un bouchon de papier, et placées :

A, à la pression normale, sous cloche ;

B, dans le petit récipient à eau de Seltz, à 4 atmosphères d'air ;

C, dans le récipient cylindrique en verre, à 7 atmosphères d'un air contenant 70 pour 100 d'oxygène, ce qui correspond à 24 atmosphères d'air.

11 *août*. A, tout à fait trouble, infecte, mais encore acide.

B, décomprimé; un peu trouble, un peu de mauvaise odeur. Reporté à 5 atmosphères d'air.

C, décomprimé; pas de trouble ; odeur fraîche. Reporté à 5 atmosphères à 71 pour 100, soit 18 atmosphères d'air environ.

15 *août*. A, tout à fait trouble, très-alcaline, horriblement infecte.

B, trouble, assez alcaline, un peu moins infecte.

C, un peu trouble, un peu alcaline, commence à sentir mauvais.

Expérience CCCCXXXIV. — 13 mai. Urine fraîche, bien acide, dans deux flacons semblables :

A, bouché, à la pression normale;

B, mis à 10 atmosphères d'un air suroxygéné.

18 *mai*. A, trouble, neutre.

B, claire, acide.

Expérience CCCCXXXV. — 19 juin. Mélange d'urine fraîche et d'urine déjà gâtée.

A, flacon bouché.

B, flacon avec bouchon de liége percé, mis à 20 atmosphères suroxygénées, correspondant à 88 atmosphères d'air.

24 *juin*. A, trouble, sent mauvais ; je ferme à la cire le trou du bouchon.

B, décomprimé ; claire, aucune odeur.

6 *juillet*. A, odeur forte ; trouble ; voile à la surface, où l'on trouve des myriades d'organismes remuants et de cristaux arrondis. Fortement alcaline ; pour en acidifier une certaine quantité, il faut ajouter 4 gouttes d'acide sulfurique.

B, aucune odeur ; trouble ; voile ; proto-organismes remuants, mais pas de cristaux. Peu alcaline ; une seule goutte d'acide sulfurique acidifie la même quantité qu'à A.

30 *juillet*. A est horriblement infecte et très-alcaline ; B, qui a été rebouchée sans soin, n'a pas d'odeur et est très-peu alcaline.

Cependant les deux urines donnent, par le procédé d'Yvon, la même quantité d'azote (3,5 à 3,7 par centimètre cube).

EXPÉRIENCE CCCCXXXVI. — 21 juillet 1874. Urine fraîche, en quantités égales dans deux matras égaux :

A, bouché avec un bouchon de liége;

B, étiré à la lampe, avec orifice fin. Placé à 15 atmosphères suroxygénées; agitation du matras.

30 *juillet*. A, trouble, très-mauvaise odeur.

B, claire et ne sent rien. En voulant fermer le matras à la lampe, il se brise; je transvase l'urine dans un matras semblable qui se brise également, puis enfin dans un tube bouché bien lavé à l'eau bouillante, que je ferme à la lampe.

Dans les mois suivants, le trouble de A va toujours en augmentant; odeur infecte; couleur de plus en plus foncée.

Au contraire, B reste limpide et de couleur pâle.

Le 16 *janvier* 1875, présenté à la Société de Biologie. A, très-colorée, toute trouble, infecte; B, claire, avec un léger dépôt floconneux.

Le 18 *janvier*. A, très-colorée, toute trouble, infecte, très-alcaline. L'analyse par le procédé Yvon donne pour 1cc d'urine 5cc,8 d'azote; mais par le procédé Gréhant on obtient seulement 2cc d'azote, valent 0cg,5 d'urée; cela tient à ce que le procédé d'Yvon fait compter le carbonate d'ammoniaque.

B, claire; odeur tout à fait fraîche; acidité normale. Le procédé d'Yvon donne pour 1cc d'urine 6cc,1 d'azote; celui de Gréhant 6cc,0, valant 1cg,6 d'urée.

17 *mai*. L'urine B, qui a été rebouchée à la lampe, est neutre, à peine odorante; à sa surface se voit une végétation épaisse. L'analyse par le procédé Gréhant donne, pour 1cc d'urine, 1cc,5 d'azote, correspondant à 0cg,4 d'urée.

EXPÉRIENCE CCCCXXXVII. — 20 mai. Urine fraîche, dans trois tubes; à chacun d'eux j'ajoute un petit morceau de *papier-Musculus*, chargé de ferment urineux, que m'a remis M. Pasteur; ce papier, préparé depuis plus de six mois, est encore très-énergique :

A, à l'air libre;

B et B', à 21 atmosphères d'air à 81 pour 100 d'oxygène.

24 *mai*. Décompression.

A, forte odeur; très-alcaline.

B, B', faible odeur; B neutre, B' très-légèrement alcalin.

EXPÉRIENCE CCCCXXXVIII. — 28 mai. Urine fraîche, dans deux matras fermés d'un bouchon de liége échancré :

A, à l'air libre ;

B, à 23 atmosphères suroxygénées, qui tombent lentement à 5.

26 *juin*. Décompression.

A est depuis longtemps infect et trouble.

B, claire avec léger dépôt, aucune odeur, bouché à la cire.

28 *juin*. Présentée à l'Institut, rebouchée sans soin et reportée dans le laboratoire.

11 *juillet*. S'est couverte d'une moisissure verte, mais n'exhale aucune odeur ammoniacale.

Ainsi, l'urine se conserve avec toutes ses qualités, sa couleur, son odeur, son acidité normale, l'urée s'y maintient dans sa proportion primitive. L'expérience CCCCXXXVI, qui a été faite avec un soin particulier, est tout à fait concluante sous tous ces rapports. L'identité des chiffres donnés par le procédé Gréhant et par le procédé Yvon pour la quantité d'azote extraite de l'urine comprimée, montre qu'il n'y avait pas là de carbonate d'ammoniaque formé, tandis qu'il s'en trouvait beaucoup dans l'urine laissée à la pression normale.

Mais si, comme dans les expér. CCCCXXXV et CCCCXXXVII, on ajoute à l'urine fraîche une notable quantité de ferment, il y aura commencement d'altération. Cela tient, bien évidemment, nous nous en sommes déjà expliqué à propos du sang et du lait, à ce que l'oxygène n'a pas le temps de tuer les ferments avant que ceux-ci aient commencé à agir sur la matière fermentescible; cependant, même dans ces cas, leur action a été ralentie.

Je ne puis cependant m'empêcher de dire que ces expériences sur l'urine mériteraient d'être reprises avec une insistance particulière ; il semble qu'il y ait là, lorsqu'on met en jeu le papier-Musculus, quelque chose de complexe, et l'action simultanée d'un ferment figuré et d'un ferment soluble.

§ 4. — **Levûre de bière.**

La levûre de bière est tuée par l'air comprimé, comme le montre l'expérience suivante :

Expérience CCCCXXXIX. — 26 juin. Des morceaux de levûre de bière bien active sont placés :

A, dans flacon bouché, pression normale.

B, dans flacon poussé à 15 atmosphères suroxygénées.

21 *juillet*. A, pourrie, avec odeur infecte ; plus trace reconnaissable au microscope.

B, décomprimé : bonne odeur fraîche ; semble saine à l'aspect extérieur et à l'examen microscopique. Cependant, mise avec de l'eau glycosée, pourrit sans fermenter, en s'acidifiant.

Ainsi la levûre a perdu tout pouvoir avec la vie ; cependant elle a été préservée de la putréfaction par l'agent même qui l'a tuée.

Il n'est donc pas étonnant qu'à la pression normale, la fermentation par la levûre marche plus énergiquement que dans l'oxygène comprimé. Exemples :

Expérience CCCCXL. — 6 août. De la levûre de bière est ajoutée à quantités égales d'une dissolution de glycose, au fond de quatre tubes semblables :

A, 2 laissés à la pression normale ;

B, 2 poussés à 10 atmosphères suroxygénées.

8 *août*. A, 5^{cc} de liquide réduisent entre 20 et 30 gouttes de réactif bleu.

B, 5^{cc} réduisent entre 40 et 45 gouttes.

Ainsi, la levûre comprimée a détruit beaucoup moins de sucre que l'autre.

Expérience CCCCXLI. — 13 mai. 50^{cc} de solution de glycose sont placés dans deux flacons, avec un morceau de même poids de levûre de bière.

A, laissé, bouché, à la pression normale.

B, porté à 10 atmosphères d'un air à 76 pour 100 d'oxygène ; tension correspondant à 38 atmosphères d'air.

18 *mai*. A, 5^{cc} du liquide réduisent $1^{cc},3$ de la solution de Fehling.

B, 5^{cc} réduisent 5^{cc}.

Le liquide où se trouvait la levûre comprimée contenait donc beaucoup plus de glycose que l'autre.

Expérience CCCCXLII. — 2 décembre. Dans quatre tubes on introduit 3^{cc} d'une faible solution de glycose et gros comme une tête d'épingle de levûre de bière.

AA′ sont maintenus, étirés à la lampe, à la pression normale.

BB′ sont portés à 18 atmosphères suroxygénées.

8 *décembre*. Décompression : A et A′ ne contiennent plus de trace de glycose.

B et B′ en contiennent $15^{mg},6$.

§ 5. — **Ferments du vin.**

Il en est de même pour les deux fermentations qui apparaissent si souvent dans le vin, et sont consécutives au déve-

loppement du *mycoderma aceti* et du *mycoderma vini*. Dans les expériences qui suivent, les deux mycodermes ont été le plus souvent employés simultanément :

Expérience CCCCXLIII. — 8 août. θ=27°. Vin notablement acide, mis en quantités égales dans 3 petites bouteilles; j'ajoute à chacune un petit nuage de ferment acétique en pleine activité :

A, laissé à la pression normale, bouché avec un cornet de papier renversé;

B, mis à 4 atmosphères d'air ordinaire;

C, à 7 atmosphères d'air à 70 pour 100 d'oxygène; tension équivalant à 24 atmosphères d'air.

11 *août*. A. Le vin est couvert d'une membrane blanche bien nette.

B, voile très-léger sur presque toute la surface.

C, quelques taches très-légères et étroites.

B et C restent sous compression.

15 *août*. A, membrane très-épaisse.

B, pellicule un peu plus forte que le 11.

C, taches comme le 11.

Expérience CCCCXLIV. — 15 août. J'ajoute à du vin placé en couche mince au fond de deux matras des pellicules de mycoderme du vinaigre.

A est bouché et renversé sur l'eau.

B est battu longuement par un courant d'oxygène presque pur; je bouche alors le matras, et le renverse à côté de A.

17 *août*. A est couvert d'une pellicule blanche de mycodermes.

B n'a rien à la surface.

19 *août*. A, pellicule épaisse.

B, nuage léger.

21 *août*. A, membrane tout à fait épaisse.

B, la pellicule a un peu épaissi.

Expérience CCCCXLV. — 27 janvier. Vin ordinaire placé dans deux fioles; on répand à la surface un peu de mycoderme venant de vin exposé dans le laboratoire, et sur lequel on avait semé du *mycoderma aceti*.

Ce vin contenait 11,9 pour 100 d'alcool et son équivalent d'acidité était 0,08.

A, bouché au liége, et laissé à la pression normale ;

B, bouché de même d'un bouchon percé, et porté à 10 atmosphères d'un air à 84 pour 100 d'oxygène; tension équivalant à 42 atmosphères d'air ordinaire.

3 *février*. A, léger nuage à la surface.

B, décomprimé : rien à la surface ; cacheté le bouchon à la cire.

17 *février*. A, membrane épaisse.

B, rien à la surface.

24 *mai*. Montré à la Commission de l'Académie des sciences.

A, trouble, avec une épaisse couche de moisissures à la surface ; l'examen microscopique montre qu'il n'y a là que du *mycoderma vini* et quelques ferments de l'amer.

Filtré et goûté, est une vinasse horrible. Il n'a plus que 9 pour 100 d'alcool et son équivalent d'acidité n'est plus que de 0,045.

B, très-clair, mais très-dépouillé, avec léger dépôt de matières colorantes, dans lequel se trouve un peu de *mycoderma vini*, et nombreux filaments du ferment de l'amer.

Au goût, n'est pas acide, mais bien un peu amer, et ressemble à de bon vin de Bourgogne devenu trop vieux : or, c'était un vin des plus médiocres.

Il contient encore 11 pour 100 d'alcool et son équivalent d'acidité est 0,07.

Exposé à l'air, dès le lendemain est extrêmement acide et tout à fait imbuvable.

(Les analyses chimiques ont été faites au laboratoire de M. Schützenberger, et les examens microscopiques sont dus à M. Gayon.)

Expérience CCCCXLVI. — 24 février. Vin fin de Bourgogne.

A, conservé comme témoin dans un flacon plein, bien bouché et couché.

B, flacon presque plein, à la pression normale ; je sème dessus du mycoderme du vinaigre, et le bouche.

C, grande éprouvette bouchée avec un fort bouchon de liége neuf percé d'un trou. Je sème dessus plus de mycodermes qu'à B. Poussé à 10 atmosphères suroxygénées.

1er *mars*. B est couvert de mycodermes.

C, que je décomprime en 24h, n'en a plus apparence ; je cachète le trou du bouchon.

17 *mai*. Les 3 flacons sont apportés au laboratoire de M. H. Ste-Cl. Deville, et débouchés devant MM. Deville, Boussingault, Debray, etc.

A, belle couleur rouge ; pas de dépôt. Très-ferme au goût, sans amer.

B, vinasse horrible, trouble, décolorée.

C, couleur très-belle, un peu ambrée. Dépôt abondant, très-adhérent. Odeur agréable. Goût non acide, mais un peu plat et nettement amer, quoique pas trop désagréable. Ressemble absolument à nos bons vins de Bourgogne, quand ils commencent à passer à l'amer.

Expérience CCCCXLVII. — 19 juin. Vin ordinaire ; on en met dans deux flacons et l'on y ensemence des mycodermes en pleine activité dans le laboratoire.

A, bien bouché ; pression normale.

B, bouché, avec un trou percé dans le bouchon ; poussé à 20 atmosphères d'air à 88 pour 100 d'oxygène, correspondant à 88 atmosphères d'air.

24 *juin*. A, couvert de mycodermes.

B, décomprimé, sans mycodermes, mais avec dépôt de matières colorantes; aussi est-il dépouillé. Bien cacheté.

6 *juillet*. A, vin clair, rose, avec un voile de *mycoderma vini* à la surface, et un dépôt gélatineux, floconneux, contenant beaucoup de *mycoderma aceti*. Forte odeur de vinaigre. Pour neutraliser l'acidité, il faut employer une quantité d'eau de baryte 2, 3 fois plus grande que pour B.

B, clair, décoloré; à la surface, pellicule irisée, sans organismes; dépôt de matière colorante. Très-faible odeur acide.

Expérience CCCCXLVIII. — 26 juin. Vin fin de Bourgogne dans un flacon porté à 15 atmosphères d'air suroxygéné.

21 *juillet*. Décomprimé. Très-dépouillé, couleur du vin de Rancio. N'a plus de bouquet. Pas d'acidité; très-faible, avec un léger goût de vin cuit.

Expérience CCCCXLIX. — 21 juillet 1874. Vin ordinaire, dans deux matras au quart pleins.

A, semé mycodermes du vin; bouché, cacheté, à la pression normale.

B, semis semblable; effilé le matras à la lampe, et poussé à 15 atmosphères suroxygénées.

30 *juillet*. A, couvert de mycodermes.

B, sans mycodermes, mais dépouillé, avec dépôt adhérent. Décomprimé, fermé à la lampe.

18 *janvier* 1875. A, membrane très-épaisse à la surface; odeur acétique très-prononcée: goût de vinaigre. L'acidité, dosée par la soude et le tournesol, est 6 fois plus forte qu'à B. Verdit la solution de bichromate de potasse dans l'acide sulfurique; donc, contient encore de l'alcool.

B, couleur très-pâle; pellicules très-minces à la surface et sur les parois du vase; odeur vineuse nette, goût peu acide, d'un vin extrêmement faible. Contient encore de l'alcool.

Expérience CCCCL. — 20 mai. Vin dans tubes, à la surface desquels on a semé des mycodermes :

A, à l'air libre, coiffé d'un cornet renversé.

B, à 21 atmosphères d'un air à 81 pour 100 d'oxygène.

24 *mai*. Décomprimé.

A, couche épaisse de mycodermes, liquide trouble.

B, dépouillé, jaunâtre; précipité de matières colorantes: pas de mycodermes; liquide clair.

Je fais bouillir du vin dans deux ballons; pendant l'ébullition, je ferme chaque ballon avec un bouchon muni d'un long tube recourbé et effilé, à travers lequel l'air rentre lentement en refroidissant. Quand le liquide est froid, j'ouvre un instant les ballons et jette dans l'un, A′, le contenu du tube A; dans l'autre, B′, celui du tube B.

31 *mai*. A′, pellicules épaisses.

B′, pas de mycodermes.

Expérience CCCCLI. — 28 mai. Vin dans matras; mycoderme semé à la surface:

A, air libre;

B, à 23 atmosphères suroxygénées, qui, dans les derniers jours de la compression, tombent à 5.

31 *mai*. A est recouvert d'une pellicule continue.

26 *juin*. Décompression.

A, couche épaisse de mycodermes; liquide très-trouble.

B, liquide très-clair, avec dépôt de matières colorantes; rien à la surface.

Donc, sous l'influence de l'oxygène à haute tension, le mycoderme qui brûle en entier l'alcool et celui qui le transforme simplement en acide acétique sont tués sans retour. Le vin conserve ainsi sa richesse en alcool et en acide. (Exp. CCCCXLV.)

L'action de l'oxygène commence à se manifester avant la tension qui correspond à 5 atmosphères d'air (Expérience CCCCXLIV).

Cependant le vin éprouve certaines altérations. La matière colorante se précipite sous forme de pellicules adhérentes au vase, il *se dépouille* plus ou moins complétement, et présente tantôt une belle couleur un peu ambrée (Exp. CCCCXLV), tantôt une teinte de vin de Rancio (Exp. CCCCXLVIII), ou, enfin, une décoloration presque complète (Exp. CCCCXLIX).

Au goût, le vin paraît vieillir rapidement (Exp. CCCCXLVI); il devient même assez amer (Exp. CCCCXLV) ou complétement tombé (Exp. CCCCXLIX). Il perd son bouquet, et prend quelquefois un léger goût de *cuit* (Exp. CCCCXLVIII).

En un mot, le vin paraît subir les altérations que produit un chauffage non ménagé, et opéré au contact de l'air.

Je ferai remarquer que dans toutes ces expériences, la pression a été extrêmement forte, et portée sans doute bien au delà de ce qu'il faudrait pour tuer les germes. Une pression plus faible n'altérerait peut-être pas le vin, tout en le préservant des fermentations ennemies. Peut-être même serait-il légèrement amélioré, comme il arrive pour les vins durs et crus lorsqu'on les chauffe suivant les règles établies par M. Pasteur.

De plus, les dégustations ont été opérées après assez long temps. Rien ne prouve que si elles eussent été immédiates, elles n'eussent pas constaté, au contraire, un certain avantage.

Toutes ces questions, médiocrement intéressantes au point de vue scientifique, prennent une importance considérable quand on les envisage à un autre point de vue. Je ne pouvais cependant, pour les poursuivre sur ce terrain, me laisser détourner outre mesure de mes études générales, et j'ai dû, les faits précédents constatés, ajourner à une autre époque les recherches de détail et les déductions pratiques, s'il peut y en avoir.

Je cite seulement ici une expérience qui prouve que la limite à laquelle l'oxygène en tension agit défavorablement sur le vin est assez basse; d'où il résulte que sa dose favorable, s'il y en a une, comme semblent l'indiquer les expériences précédentes, pourrait être obtenue industriellement, puisqu'il suffirait d'employer de l'air ordinaire :

Expérience CCCCLII. — 15 juillet. Vin rouge fin dans deux bouteilles cachetées, dont les bouchons sont percés d'un trou.

A, à l'air, debout;

B, à 10 atmosphères d'air, debout.

29 *juillet*. Décomprimé. A n'a pas changé d'aspect.

B a une couleur violacée, avec précipité coloré, abondant, adhérent au vase.

4 *octobre*. Dégusté. A, bon goût, bouquet assez fin.

B, décoloré, bouquet perdu, sent l'évent.

§ 6. — **Moisissures.**

Dans un grand nombre d'expériences, faites pour la plupart en vue d'un autre but, et dont plusieurs ont déjà été rapportées, j'ai eu à constater que l'oxygène à haute tension tue les êtres microscopiques, animaux ou végétaux, autres que les ferments. Les liquides aptes au développement des infusoires n'en contiennent pas trace après un certain séjour dans l'oxygène comprimé; ils en sont complétement purifiés, lorsqu'ils en contenaient déjà, qu'il s'agisse de végétaux ou

d'animaux, de simples monadaires ou d'infusoires les plus élevés de ta série.

Ces faits n'ont bien évidemment, en présence de tous ceux que nous avons énumérés déjà (aussi ne donnerons-nous le récit d'aucune expérience spéciale), qu'une médiocre importance. La généralité de l'action funeste de l'oxygène à haute tension a été suffisamment établie par toutes les expériences rapportées jusqu'ici. Ce serait d'une étrange philosophie de s'imaginer — et cependant des esprits éminents ont commis cette grave erreur dans la question des générations dites spontanées — que les dimensions microscopiques puissent donner aux êtres qui en sont doués des vertus spéciales, et autoriser en leur faveur des dérogations aux règles les plus générales de la nature.

Les moisissures se sont tout naturellement comportées de même que les végétaux dits supérieurs. Cependant, nous croyons utile de rapporter ici quelques expériences où il est principalement question d'elles. Ces faits peuvent être utiles, en effet, pour la solution de questions qui intéressent la théorie générale des fermentations :

Expérience CCCCLIII. — 26 juin 1874. Deux morceaux de pain mouillé, de quelques centimètres cubes, sont placés :

A, dans un grand flacon bouché d'un bouchon de liége;

B, dans un petit flacon bouché de même avec bouchon percé d'un trou. Porté à 15 atmosphères suroxygénées.

21 *juillet*. A est depuis plusieurs jours en déliquescence et couvert de moisissures vertes.

B, blanc, solide, très-frais d'aspect ; pas de végétation.

18 *janvier* 1875. A n'est plus que débris informes, où l'on ne trouve plus de sucre; neutre au tournesol.

B présente exactement la même apparence que le 21 juillet. Ouvert, a une légère odeur acide, agréable, qui n'est pas celle de l'acide acétique, mais ressemble à celle de l'acide lactique. Rougit fortement le tournésol, et doit cette action à un acide qui résiste à l'ébullition prolongée avec évaporation à siccité. Précipite en abondance la liqueur bleue; bleuit complétement par l'iode.

Expérience CCCCLIV. — 21 juillet 1874. Pain coupé en petits morceaux, et placé, mouillé :

A, dans matras bouché ;

B, dans matras étiré à la lampe ; celui-ci est soumis à 15 atmosphères suroxygénées.

30 *juillet*. A, couvert de moisissures.

B, n'a pas changé d'aspect.

18 *janvier* 1875. A, en putrilage.

B, que je n'ouvre pas, a le même aspect qu'au 30 juillet.

3 *août*. B est ouvert au laboratoire de M. Cloëz et devant lui ; l'aspect n'a pas changé ; la réaction est légèrement mais nettement acide ; odeur aigrelette, agréable.

J'appelle l'attention sur cette réaction acide que présente le pain malgré son apparente conservation, et l'absence de toute moisissure. Nous en avions déjà signalé une semblable dans la viande, dans l'œuf, protégés par la compression contre la putréfaction.

Je l'ai constatée en employant, pour simplifier les conditions expérimentales, de l'amidon cuit au lieu de pain :

Expérience CCCCLV. — 21 juillet 1874. Je sème sur de l'amidon cuit très-étendu d'eau des *poussières diverses* prises dans un coin du laboratoire.

A, matras bouché, pression normale ;

B, matras étiré à la lampe, 15 atmosphères suroxygénées.

30 *juillet*. Décomprimé B; en bouchant à la lampe, le matras casse. Je verse aussitôt le contenu dans un tube lavé à l'eau bouillante, que je ferme ensuite à la lampe.

18 *janvier* 1875. A, couvert de moisissures, ne contient ni sucre ni amidon.

B, net, sans moisissures, contient beaucoup de glycose, et se colore fortement en bleu par la teinture aqueuse d'iode.

Expérience CCCCLVI. — 7 août 1874. Amidon cuit et très-étendu d'eau :

A, dans un matras fermé d'un bouchon.

B, dans matras, étiré à la lampe, maintenu entre 8 et 12 atmosphères suroxygénées, jusqu'au 17 août, où je décomprime et ferme à la lampe.

18 *janvier* 1875. A, infect, neutre ;

B, aucune altération à l'aspect extérieur ; odeur aigrelette et parfumée, rappelant celle du cidre.

Très-acide, bleuit par l'iode et contient de la glycose.

M. Schützenberger, qui a bien voulu examiner cette substance, y a trouvé des acides volatils, acétique et formique, et un acide fixe donnant avec le zinc des cristaux de même forme que les lactates.

Expérience CCCCLVII. — 5 juillet 1875. Amidon cuit et eau ; tubes de verre.

A, fermé à la lampe, air ordinaire;

B, effilé à la lampe ; poussé à 15 atmosphères suroxygénées.

17 *juillet*. Décomprimé ; fermé B à la lampe.

16 *novembre* 1876.

A, neutre, contient beaucoup de glycose ; aucune odeur.

B, nettement acide ; beaucoup de glycose ; pas d'odeur notable.

FRUITS. — Expérience CCCCLVIII. — 26 juin 1874.

A, 3 cerises entières, bien mûres, sont placées dans un petit flacon avec un peu d'eau.

Portées à 15 atmosphères suroxygénées.

B, moût de cerises laissé à la pression normale, dans un flacon bouché ;

C, moût de cerises, placé à côté de A.

21 *juillet*. B, évidemment gâté, couvert de moisissures.

A et C, en très-bon état, ont pris une couleur un peu foncée.

18 *janvier* 1875. B est un magma horrible.

A. Les cerises sont très-belles et très-fermes, semblables absolument à ce qu'elles étaient le 21 juillet.

30 *novembre* 1876. Les cerises de A ont toujours le même aspect.

1 *mai* 1877. Id.

Expérience CCCCLIX. — 28 mai. Matras contenant : A et B, des cerises entières ; A′ et B′, des poires.

A et A′ sont laissés à l'air, fermés par un cornet renversé.

B et B′ sont placés à 23 atmosphères suroxygénées ; pression qui tombe graduellement à 5 atmosphères.

Dès le 31 mai, A et A′ sont couverts de moisissures.

26 *juin*. A et A′ sont moisies, les poires en magmas informes.

B et B′ n'ont aucune moisissure : les cerises sont d'une couleur brune, les poires d'une couleur ambrée.

Expérience CCCCLX. — 20 janvier. Jus d'oignon pilé et additionné de craie en poudre : tubes :

A, pression normale ;

B, à 21 atmosphères suroxygénées.

23 *janvier*. Décomprimé ; fermé à la lampe les tubes.

17 *mai*. A, neutre ; végétation abondante à la surface.

B, neutre ; pas de moisissures.

Expérience CCCCLXI. — 5 juillet 1875. Cerises sans noyaux, auxquelles on ajoute un peu de glycose. Mises en colonne de 10ᶜ environ dans trois tubes, portés à 15 atmosphères suroxygénées.

17 *juillet*. Décompression ; les cerises ont le goût de cerises cuites, mais trop acides. Tubes fermés à la lampe.

16 *novembre* 1876. L'aspect des cerises n'a pas changé ; pas d'explosion en ouvrant les tubes ; cerises ayant le goût de cerises à l'eau-de-vie, mais trop acides.

Par le procédé des gouttes huileuses, M. Dastre y trouve beaucoup d'alcool; il en évalue la proportion à 1 pour 100.

EXPÉRIENCE CCCCLXII. — 5 juillet. Abricots et cerises dans flacons.
A, à l'air libre;
B, à 8 atmosphères suroxygénées.
9 *juillet*. A, couvert de moisissures.
B, sans moisissures; les abricots ont une étrange odeur piquante.

EXPÉRIENCE CCCCLXIII. — 15 juillet. Pommes, poires, raisins, dans des bouteilles séparées, fermées par des bouchons cachetés et percés d'un trou.
A, à l'air libre.
B, à 10 atmosphères d'air.
29 *juillet*. Décompression.
A, les pommes et les poires s'altèrent; il en sort du liquide; le raisin est en putrilage; tous les grains sont tombés de la rafle, qui reste suspendue; moisissures; bouché à la cire.
B, pommes et poires sont devenues brunes, et semblent cuites; raisins bien conservés; pas de moisissures : bouché à la cire.
4 octobre. — A : fruits complétement pourris;
B : pommes et poires blettes, ont le goût de fruits cuits; raisin avec moisissures, mais dont les grains tiennent encore à la rafle.

EXPÉRIENCE CCCCLXIV. — 23 septembre. Prunes de reine-claude, mûres, bien saines :
A : pression normale;
B : 15 atmosphères suroxygénées.
29 *septembre*. — A : intact; goût normal;
B : intact aussi d'aspect; goût de prunes cuites.

Les fruits se conservent donc parfaitement, quant à la forme, dans l'oxygène à haute tension; ils y sont à l'abri des moisissures. Les cerises de l'expérience CCCCLVIII, conservées intactes en apparence depuis 3 ans, après retour à la pression normale, en donnent un exemple saisissant. Mais leur couleur change, leur goût surtout, qui ressemble plus ou moins au goût de cuit, ou à celui des fruits à l'eau-de-vie. Ces recherches mériteraient d'être poursuivies au point de vue chimique, surtout en considération de cette production d'alcool signalée dans l'expérience CCCCLXI. Il faudrait chercher les rapports de ces faits avec ceux qu'ont signalés MM. Bellamy, Lechartier et Pasteur.

SOUS-CHAPITRE II

FERMENTATIONS DIASTASIQUES.

J'arrive maintenant à l'étude de l'action, s'il y en a une, de l'oxygène à haute tension sur les ferments solubles dans l'eau, précipitables par l'alcool, qui sont désignés sous les noms de ferments diastasiques, zymotiques, de faux ferments, etc.

§ 1er. — **Salive et diastase.**

La fermentation zymotique que j'ai dû mettre en expérience le plus fréquemment est celle par laquelle la diastase transforme en glycose l'amidon. En outre de l'intérêt considérable que présente ce phénomène, qui joue un si grand rôle dans la digestion des animaux (salive et suc pancréatique) dans leur nutrition (glycogénie hépatique), celle des végétaux et la germination, j'étais déterminé par la facilité avec laquelle on peut en mesurer exactement les effets.

La première question à se poser était de chercher à savoir si le ferment diastasique est tué par l'oxygène en tension, comme le sont si sûrement les ferments figurés. L'expérience suivante va répondre :

Expérience CCCCLXV. — 26 juin. — De la diastase est dissoute dans un peu d'eau et placée dans deux tubes :

A : pression normale;

B : à 15 atmosphères suroxygénées.

21 *juillet*. — Décomprimé B, qui n'a aucune odeur et a conservé la plus énergique puissance transformatrice, tandis que A sent mauvais et n'a plus aucune action sur l'amidon cuit.

Expérience CCCCLXVI. — 16 février. Diastase et eau dans tube étiré. Mise à 15 atmosphères d'air suroxygéné.

5 *mai*. Décomprimée, a conservé toute son action. Je fais une nouvelle solution de diastase dans un tube que je ferme à la lampe, ainsi que le premier.

17 *mai*. La diastase qui a été comprimée agit encore sur l'amidon ; elle n'a pas d'odeur. L'autre sent une odeur butyreuse et n'agit plus.

Ainsi la diastase, bien loin d'être détruite par l'oxygène en tension, s'y conserve parfaitement. Il arrive même que, sans doute par suite de la destruction par l'air comprimé des ferments figurés qui l'auraient fait putréfier à la pression normale, elle reste presque indéfiniment énergique.

On a le même résultat en mettant en expérience non plus la diastase pure et dissoute dans l'eau, mais le mélange complexe qui constitue la salive buccale. Exemple :

Expérience CCCCLXVII. — 21 juillet 1874. Salive humaine étendue d'eau et placée dans un matras étiré à la lampe, et soumis à 15 atm. d'un air suroxygéné.

Le 30 *juillet*, je décomprime et soude l'extrémité du tube effilé.

18 *janvier* 1875. — Cette salive qui ne sent rien et paraît bien normale, neutre aux réactifs, transforme avec une grande énergie l'amidon cuit en glycose.

La salive se conserve donc dans l'air comprimé ; mais il faut avouer qu'elle se conserve aussi très-bien à l'air libre. Ainsi, de la salive humaine non filtrée, mise le 18 janvier dans un tube bouché, agissait encore le 12 février ; le tube étant alors resté ouvert par un orifice très-fin, la salive avait encore une notable activité le 17 mai.

Il en est de même du suc pancréatique et en général des ferments solubles, qui résistent même à la putréfaction commençante.

Mais maintenant, tout en se conservant dans l'oxygène comprimé, le ferment peut-il y agir ? Et y agit-il avec plus ou moins d'énergie qu'à la pression normale ?

Les expériences vont répondre : Je ferai remarquer que j'ai pris l'amidon cru en suspension dans l'eau, parce que l'amidon cuit se transforme instantanément au contact de la salive :

Expérience CCCCLXVIII. — 18 juillet. Ma salive, filtrée, est mélangée à une certaine quantité d'eau tenant de l'amidon cru en suspension ; on mêle avec soin, et l'on place dans 3 tubes ouverts :

A. Laissé à la pression normale.

B. Placé à demi-atmosphère.

C. A 8 atmosphères suroxygénées.

Les tubes et appareils sont placés dans des conditions de température identiques.

20 *juillet*. Retiré les tubes, filtré rapidement les liqueurs, et essayé au réactif de Fehling.

A. 5cc réduisent de 75 à 85 gouttes de liqueur bleue.
B. 5cc — de 65 à 75 —
C. 3cc — de 50 à 60 —

Expérience CCCCLXIX. — 26 mai. Salive filtrée, mélangée à amidon cru en suspension dans volume égal d'eau. Le liquide, bien mêlé, est placé en quantités égales dans 2 tubes, dont l'un A est laissé à la pression normale, l'autre B est soumis à 15 atm. suroxygénées.

3 *juin*. A contient évidemment beaucoup plus de sucre que B.

Cependant le dépôt qui est au fond du tube A se colore en bleu intense par l'iode, tandis que celui de B ne donne qu'une coloration verdâtre.

Expérience CCCCLXX. — 20 janvier. Salive, amidon cru et eau. Bien mêlé, et placé dans plusieurs tubes. On s'assure que le mélange ne contient pas de glycose.

A. A la pression normale, bouché avec cornet de papier renversé.
B. A 21 atm. d'air suroxygéné.

Tous les deux sont mis à l'étuve, 30 degrés.

25 *janvier*. Essayé avec liqueur bleue :

A. 7cc en réduisent 35 gouttes.
B. 7cc ne réduisent que 14 gouttes.

Expérience CCCCLXXI. — 22 mars. Salive, amidon cru et eau. Mélange placé dans des tubes.

A, A′. A la pression normale.
B, B′. A 9 atmosphères suroxygénées.

24 *mars*. Essayé avec liqueur bleue.

A A′ contiennent un peu plus de glycose que B et B′ ; différence légère, mais évidente : visées faites avec grand soin sur papier blanc.

Expérience CCCCLXXII. — 25 mai. Salive, amidon cru et eau. Quantités égales dans six tubes.

A. Trois sont étirés à la lampe et laissés à la pression normale.
B. Trois à 15 atmosphères d'air suroxygéné.

27 *mai*. Analyses des tubes par M. Dastre.

A. Contiennent 2mg,2 ; 2mg,9 ; 1mg,7 ; soit en moyenne 2mg,3 de glycose.
B. — 1mg,6 ; 1mg,9 ; 1mg,7 ; — 1mg,7 —

Dans ces expériences, la transformation de l'amidon en sucre a continué à se faire dans l'oxygène comprimé, mais son intensité a manifestement diminué.

Mais, pour obtenir ce résultat, il faut ne pas attendre trop longtemps, et examiner les liqueurs au bout de peu de jours.

Sans quoi, surtout si l'on s'était servi de diastase, l'on trouverait le contraire, et l'on verrait que la liqueur comprimée est plus riche en sucre que l'autre. C'est ce qui est arrivé, par exemple, dans les expériences suivantes :

Expérience CCCCLXXIII. — 26 juin. Amidon cru en suspension dans l'eau, mêlé à une certaine quantité de *diastase*. Bien agité ; mis dans 2 tubes :

A. Pression normale.

B. 15 atm. suroxygénées.

21 *juillet*. A, 5^{cc} réduisent 25 gouttes de liqueur bleue.

B resté sous compression jusque-là : 5^{cc} réduisent 40 gouttes.

Aux deux il y a encore de l'amidon.

Expérience CCCCLXXIV. — 1er mars. Salive, amidon cru, eau, quantités égales dans 12 tubes :

A. Six sont étirés à la lampe et laissés à la pression normale.

B. Six sont mis à 15 atmosphères suroxygénées.

28 *mars*. Analyse des tubes par M. Dastre.

A. 2 tubes contiennent des quantités de glycose proportionnelles aux nombres 45 et 39 : d'où une quantité moyenne de $1^{mg},7$.

B. 3 tubes analysés contiennent des quantités de glycose proportionnel, les aux nombres 111, 119, 115 : d'où une quantité moyenne de $4^{mg},6$ de glycose.

Cela s'explique aisément : la diastase restée à l'air s'était un peu altérée, tandis que celle qui était sous compression avait gardé ses propriétés et continuait à agir.

§ 2. — **Pepsine.**

Expérience CCCCLXXV. — 16 février. Pepsine Boudaut; trois tubes, dans chacun desquels on en met 2 grammes avec 5^{cc} d'eau distillée.

A. A l'air, coiffé d'un cornet de papier.

B, B'. A 15 atm. d'air suroxygéné.

5 *mars*. Décompression.

A. Sent assez fort et est couvert de moisissures formant bouchon ; très-acide ;

B B'. Ne sent rien ; pas de moisissures ; acide.

Je mets B et B' chacun dans un verre avec 10 grammes de blanc d'œuf cuit et coupé en morceaux; les verres, qui sont égaux, sont ensuite remplis d'eau acidulée avec l'acide chlorhydrique.

Je reprends 2 grammes de pepsine en poudre, les mets dans 5^{cc} d'eau

distillée, y ajoute 10 grammes de blanc d'œuf cuit, et la même quantité d'eau acidulée.

Les trois verres sont mis à l'étuve à 38 degrés.

8 *mars*. Il reste dans chaque verre 2 grammes de blanc d'œuf, mat.

Ainsi la pepsine, après l'action de l'oxygène en tension, s'est comportée absolument comme auparavant.

§ 3. — **Ferment inversif de la levûre.**

Le ferment dont je me suis servi avait été, ainsi que la myrosine et l'émulsine dont il sera question dans les paragraphes suivants, préparé par M. Schützenberger, alors chef du laboratoire des travaux chimiques à la Faculté des sciences :

Expérience CCCCLXXV *bis*. — 16 février. Mis dans trois tubes étirés à la lampe 5^{cc} de liquide.

A. A l'air libre, coiffé d'un cornet de papier.

B B'. A 15 atm. d'air suroxygéné.

5 *mars*. Décompression; je ferme les trois tubes à la lampe; mais auparavant je m'assure que le ferment des tubes A et B transforme rapidement le sucre de canne en glycose.

15 *mars*. Mis à l'étuve, où la température varie de 25 à 40 degrés.

25 *mars*. Retiré de l'étuve : A et B B' agissent encore.

17 *mai*. A est alcalin et infect; n'a plus aucune action.

B et B' sont acides, ne sentent rien, et ont conservé leur énergie.

§ 4. — **Myrosine.**

Expérience CCCCLXXVI. — 16 février; dans 3 tubes étirés à la lampe : 5^{c} de hauteur de liquide.

A. Air libre, coiffé d'un cornet de papier;

B, B'. A 15 atm. d'air suroxygéné.

5 *mars*. Décomprimé : A et B agissent parfaitement sur le myronate de potasse pour donner l'essence de moutarde.

15 *mars* : mis à l'étuve, de 25 à 40 degrés.

25 *mars* : retiré de l'étuve; A et B B' agissent encore.

17 *mai* : A et B B' agissent encore, mais les derniers plus énergiquement.

§ 5. — **Émulsine.**

Expérience CCCCLXXVI *bis*. — 16 février. Cette expérience est faite en même temps et dans les mêmes conditions que les trois précédentes.

15 *mars :* il y a beaucoup de moisissures sur l'émulsine non comprimée ; rien sur l'autre, non plus que sur les autres tubes.

La formation d'essences d'amandes amères au contact de l'amygdaline se fait avec les deux liquides, le 25 mars, au sortir de l'étuve.

17 *mai*. L'émulsine non comprimée est couverte de moisissures, alcaline, infecte, elle n'a plus d'action.

L'autre semble fraîche, n'a pas d'odeur, est légèrement acide, et agit énergiquement et rapidement.

En résumé, tous les faux ferments solubles que nous avons mis en expérience, diastase salivaire, pepsine, ferment inversif, myrosine, émulsine, nous ont donné le même résultat et ont conservé leur propriété caractéristique après l'action prolongée de l'oxygène à haute tension. Bien plus, comme celui-ci les débarrasse des germes de moisissures, des vibrions, etc., qui tôt ou tard les détruisent à l'air libre, ils demeurent eux-mêmes pendant un temps qui paraît indéfini.

Cette remarquable propriété pourra peut-être être employée dans la pratique, et notamment dans la thérapeutique. On se trouverait fort bien, j'en suis persuadé, de substituer aux poudres, aux extraits si infidèles des sucs digestifs, ces sucs eux-mêmes, soumis au préalable à une pression suffisante, pour leur éviter la putréfaction. Mais je dois ici me borner à cette indication.

SOUS-CHAPITRE III

ACTION DE L'OXYGÈNE A HAUTE TENSION SUR LES ÉLÉMENTS ANATOMIQUES.

Après avoir constaté, dans le chapitre IV, l'action rapidement mortelle de l'oxygène à haute tension sur les animaux supérieurs, nous avons cherché à analyser cette action, d'après des méthodes introduites par M. Claude Bernard dans la toxicologie. La section des nerfs, l'examen du cœur, l'emploi des anesthésiques, l'injection du sang des animaux tués par l'oxygène dans les veines d'autres animaux, nous ont montré que les phénomènes violents qui précèdent et amènent la mort, sont le résultat d'une surexcitation des centres

nerveux, si bien que j'ai été conduit à rapprocher l'action de l'oxygène de celle de la strychnine et de l'acide phénique.

Après la mort, les muscles sont encore contractiles, les nerfs excitables, les actions réflexes possibles, le cœur bat encore. Mais est-ce à dire que les éléments anatomiques nerveux soient seuls attaqués par l'oxygène? Tout ce que nous avons dit jusqu'ici s'élève contre cette hypothèse : la diminution si considérable des oxydations intra-organiques, la mort des animaux inférieurs, celle des végétaux et des ferments, tous ces phénomènes montrent une généralité d'action qui doit évidemment s'étendre aux éléments anatomiques des animaux supérieurs.

Je ne pouvais cependant me contenter dans ce cas, non plus que dans aucun autre, de conclusions tirées de l'analogie. Des expériences directes m'ont paru nécessaires; mais j'avoue que, voyant leur concordance avec ce qui paraissait si vraisemblable, je n'en ai pas beaucoup multiplié le nombre :

Expérience CCCCLXXVII. — 20 février. Le train postérieur d'une grenouille est coupé en deux, suivant l'axe vertébral.

A. L'une des parties est laissée à la pression normale, suspendue dans une éprouvette bouchée, au fond de laquelle se trouve de l'eau, pour éviter la dessiccation.

B. L'autre est suspendue de même dans l'appareil cylindrique en verre, où l'on pousse la pression à 10 atm. d'un air contenant 80 pour 100 d'oxygène.

24 *février*. A. Le nerf sciatique n'est plus excitable; les muscles se contractent encore sous l'influence d'un assez faible courant; leur réaction est neutre.

B. Les muscles pas plus que les nerfs ne sont excitables aux plus forts courants. Il y a rigidité manifeste, et les muscles sont très-acides.

Expérience CCCCLXXVIII. — 2 mars, 2h. Moitiés de grenouille disposées comme dans les expériences précédentes; A à la pression normale, B à 15 atmosphères suroxygénées.

3 *mars*, 4h. A : nerf sciatique bien excitable; contraction musculaire très-vive et très-soudaine, comme à l'état normal;

B : Le nerf sciatique ne peut plus être excité par aucun courant. Les muscles se contractent encore; mais la contraction est lente, ressemble à une sorte de crampe, et dure encore après que l'excitation a cessé.

Expérience CCCCLXXIX. — 8 avril. Expérience disposée toujours de la

même façon : A à la pression normale, B à 3 atm. d'un air contenant 50 pour 100 d'oxyg., ce qui correspond en tension à 7,5 atm. d'air.

10 *avril*. A : On obtient des contractions musculaires avec l'appareil à chariot, la bobine mobile étant à 16c de l'extérieur de la bobine fixe.

B. Pour avoir des contractions, il faut se rapprocher jusqu'à 5 centimètres. La contraction est accompagnée de contracture.

Expérience CCCCLXXX. — 12 juin, 4h. On enlève le cœur à 4 grenouilles. Ces cœurs sont placés 2 à 2 dans une capsule où ils baignent dans de l'humeur vitrée de chien.

A. Laissé à la pression normale.

B. Comprimé dans l'appareil cylindrique en verre, à 10 atm. suroxygénées.

6 *heures*. A. Les cœurs présentent encore des battements, surtout pour les oreillettes : on peut les exciter.

B. Ils sont complétement arrêtés, et ne peuvent être rappelés par l'excitation.

Ces faits montrent que la contractibilité musculaire, que l'excitabilité nerveuse motrice, que le jeu rhythmique des ganglions nerveux du cœur, s'arrêtent bien plus tôt dans l'oxygène en tension que sous la pression normale avec l'air ordinaire. En d'autres termes, les éléments anatomiques musculaires, nerveux et ganglionnaires sont, comme les éléments libres qui constituent les ferments, tués par l'oxygène comprimé.

D'autres recherches, dans lesquelles j'ai mis en usage la méthode des greffes animales[1], la seule qui pût ici nous éclairer, montrent que non-seulement les propriétés vitales d'ordre supérieur, d'ordre animal, sont détruites dans les éléments musculaires et nerveux, mais que tous les éléments anatomiques sont tués par l'oxygène en tension. En effet, les greffes exécutées avec des parties soumises au préalable à son action se sont résorbées sans avoir contracté d'adhérence :

Expérience CCCCLXXXI. — 15 mars. Queues de rat écorchées, sont suspendues dans des tubes de verre bouchés, avec un peu d'eau au fond.

L'une d'elles, A, est laissée à la pression normale.

L'autre, B, dont le bouchon est percé d'un trou, est portée du 16 au 20 mars à 10 atm. d'air suroxygéné. Température 12 degrés.

[1] Voy. mon Mémoire sur la vitalité des tissus animaux (*Annales des sciences naturelles. Zoologie*, 1866).

20 mars. A sent un peu mauvais. B aucune odeur.
Greffées sous la peau du dos de deux rats.
Pas d'accident.
16 juillet. La greffe A est parfaitement prise;
B est presque entièrement résorbée.

EXPÉRIENCE CCCCLXXXI *bis.* — 22 mars. Queues de rat écorchées, suspendues dans des tubes, au-dessus d'un peu d'eau.
A. Pression normale.
B. A 9 atmosphères suroxygénées.
24 mars. Greffées à deux rats.
Pas d'accidents.
1er juin. A, greffe parfaitement prise.
B. Presque entièrement résorbée.

La transfusion du sang, qui n'est qu'un cas particulier de la méthode générale des greffes animales, montre également que le sang qui a subi l'action prolongée de l'oxygène comprimé, est incapable d'entretenir la vie; ses éléments anatomiques, ses globules, sont tués, et leur introduction dans l'organisme détermine même la mort. Exemple :

EXPÉRIENCE CCCCLXXXII. — 20 avril. 100cc de sang de chien, défibriné, sont agités d'une manière continue pendant 18 heures dans l'appareil représenté page 697, avec de l'oxygène comprimé à 18 atmosphères.
21 avril. On enlève à un petit chien (pesant 5 kil.) 100cc de sang, saignée qui certes ne l'aurait pas fait périr[1], et on lui injecte lentement, dans la veine fémorale, les 100cc de sang agités et bien purgés de gaz libres.
L'injection est faite à 11h. Immédiatement après, l'animal se met à courir; mais bientôt il se retire dans un coin, tombe dans une sorte de somnolence, et meurt à 5h 30m; sa temp. rectale est à ce moment de 29°,5.

Ainsi, les éléments anatomiques des os et du tissu cellulaire ont été tués par l'oxygène à haute tension; le sang a acquis des propriétés toxiques; les greffes se sont résorbées sans avoir contracté d'adhérences vasculaires. Si elles n'ont pas excité de phlegmon, cela tient probablement à ce que l'oxygène avait tué tous les germes atmosphériques qui pouvaient

[1] Paul Bert. Note sur un signe certain de la mort prochaine sur les chiens soumis à une hémorrhagie rapide (*Mémoire de la Société des sciences de Bordeaux* t. IV, p. 75, 1866).

y adhérer ; j'ai, du reste, autrefois, obtenu de semblables résultats.

Il résulte de ces faits que la mort des animaux supérieurs dans l'oxygène comprimé, si elle a pour mécanisme prochain la surexcitation du système nerveux central, comme nous l'avons établi, est due, en réalité, à une action générale de l'oxygène sur tout l'organisme. Seulement, les éléments nerveux, plus susceptibles, réagissent les premiers, troublent les mécanismes vitaux, tellement que la mort survient avant que les autres éléments soient sensiblement affectés.

Nous tirons encore de là cette conséquence que la mort des éléments anatomiques n'a rien à voir avec la putréfaction ; elle n'en est pas, comme on a pu le penser avec une apparente raison, le premier stade ; elle est tout autre chose, puisque la pression, qui la hâte, empêche la putréfaction.

SOUS-CHAPITRE IV

DE L'EMPLOI DE L'OXYGÈNE A HAUTE TENSION COMME MÉTHODE EXPÉRIMENTALE.

Les faits qui viennent d'être rapportés dans les deux sous-chapitres précédents me paraissent présenter un intérêt considérable, non-seulement en eux-mêmes, mais au point de vue d'un emploi de l'oxygène à haute tension, comme méthode expérimentale. Nous avons vu, en effet, que les organismes microscopiques qui constituent les vrais ferments, que les éléments anatomiques, isolés ou groupés en tissus, sont tués par l'oxygène ; qu'au contraire, les ferments non figurés, solubles, les diastases, lui résistent parfaitement et sont même conservés par lui.

Nous avons donc en main un précieux instrument de différenciation pour reconnaître ce qui appartient à l'une ou à l'autre des deux classes de fermentations.

S'agit-il d'une fermentation vraie, elle devra être arrêtée complétement par l'oxygène comprimé, sous une tension correspondant à environ 30 atmosphères d'air, et le ferment

étant tué, elle ne se manifestera plus, lors même que la pression redeviendrait normale. La fermentation est-elle due à la présence d'une matière analogue à la diastase, cette matière, soumise à l'air comprimé, devra y conserver presque indéfiniment ses propriétés actives, qu'une expérience consécutive permettra de mettre en lumière.

Je me hâte de dire cependant que, s'il est ainsi très-facile de déterminer si un phénomène donné est une fermentation vraie, la méthode ne permettra nullement de décider s'il est une pseudo-fermentation, ou le résultat d'une simple oxydation. Un exemple tiré du blettissement des fruits fera comprendre ma pensée.

§ 1er. — **Blettissement des fruits.**

Certains fruits, par exemple les nèfles, les cormes, sont régulièrement atteints de blettissement, si bien que, comme ils ne peuvent être mangés que dans cet état, on le confond communément avec la maturation. Le blettissement est-il le fait d'une évolution vitale des cellules du fruit ; est-il le résultat de la réaction d'une matière diastasique antérieurement formée sur le tannin, qui disparaît pendant le blettissement ; est-il, enfin, simplement la conséquence d'une oxydation de ce tannin, dont la disparition enlève au fruit sa saveur insupportable ? Voyons d'abord ce que disent les expériences :

Expérience CCCCLXXXIII. — 29 septembre. Cormes non blettes, bien saines, placées avec soin dans des éprouvettes.

A, laissées à l'air libre.

B, soumises à une pression de 10 atmosphères suroxygénées.

4 octobre, Décomprimé.

A, commencent à blettir.

B, évidemment plus blettes encore.

Expérience CCCCLXXXIV. — 5 novembre. Nèfles non blettes.

A, à la pression normale.

B, à 17 atmosphères d'un air contenant 78 pour 100 d'oxygène.

11 *novembre*. — Décomprimé.

A, encore très-dures, ne blettissent qu'une semaine après.

B, complétement blettes, et, par suite, de la décompression brusque et du dégagement des gaz, crevées et éclatées.

Ainsi, non-seulement le blettissement n'a pas été arrêté, mais bien, au contraire, il a été accéléré par l'action de l'oxygène à haute tension. Cela seul suffit pour nous montrer qu'il ne s'agit pas là d'un acte de la vie cellulaire.

Mais est-ce un acte diastasique? Est-ce d'une oxydation directe qu'il s'agit? Les oxydations de cet ordre ne sont pas arrêtées par l'oxygène en tension ; au moins en est-il ainsi pour celle du pyrogallate de potasse :

Expérience CCCCLXXXV. — 10 février. Au fond d'un verre est une dissolution d'acide pyrogallique; une petite capsule contenant de la potasse flotte à la surface. Le tout est soumis à 10 atmosphères suroxygénées dans l'appareil cylindrique en verre.

13 février. On secoue l'appareil sans l'ouvrir; aussitôt que la potasse touche l'acide, on voit le liquide rougir instantanément, plus rapidement, certes, qu'il n'aurait fait à la pression normale.

L'accélération du blettissement dans l'oxygène comprimé semble bien indiquer qu'il est le résultat d'une oxydation. L'expérience suivante tend à le démontrer :

Expérience CCCCLXXXVI. — 12 novembre. On broie dans un mortier des nèfles bien dures, et l'on coule dans un verre la pâte ainsi obtenue.

Deux heures après, le blettissement a commencé *à la surface* de la masse pâteuse.

En résumé, nous voyons, grâce à l'emploi de l'oxygène à haute tension, que le blettissement n'est très-certainement pas un acte de la vie des cellules du fruit, mais très-probablement le résultat d'une oxydation directe.

§ 2. — Maturation des fruits.

La même question peut se poser pour la maturation régulière des fruits. Si c'est un phénomène d'ordre diastasique, il continuera dans l'oxygène comprimé ; si c'est un acte de vie cellulaire, il sera arrêté. L'expérience est assez difficile à réaliser, parce qu'il faut prendre des fruits qui mûrissent aisé-

ment et rapidement hors de l'arbre, qui ne soient pas trop sujets à des altérations fâcheuses, et qui soient d'assez petites dimensions pour être rapidement pénétrés par l'oxygène :

Expérience CCCCLXXXVII. — 9 juillet. Groseilles à maquereau à peine rosées, commençant à mûrir.

A, à la pression normale.

B, dans l'appareil cylindrique en verre.

17 *juillet*. Décomprimé.

A, bien rouges, sucrées, tendres, parfaitement mûres.

B, n'ont pas changé de couleur; sont fermes et dures, acides, avec le goût de groseilles cuites un peu aigres.

Expérience CCCCLXXXVIII. — 19 juillet. Prunes commençant à mûrir.

A, pression normale.

B, 15 atmosphères suroxygénées.

26 *juillet*. Décomprimé.

A, sont mangeables, amollies, et ont notablement jauni.

B, sont devenues d'une couleur brun foncé; restées très-dures, d'une insupportable acidité, avec l'odeur et le goût de prunes cuites.

Ces deux exemples suffisent pour montrer, de la manière la plus nette, que la maturation des fruits est un acte vital, dû à une certaine évolution cellulaire, et, par suite, essentiellement différent du blettissement, avec lequel on l'a souvent confondu.

J'appelle l'attention sur ce goût de cuit que prennent les fruits sous l'influence de l'oxygène comprimé. Il a déjà été signalé dans les expériences du premier sous-chapitre, relatives au développement des moisissures. Il est évidemment dû soit à une oxydation exagérée, soit à l'action d'un pseudo-ferment diastasique.

§ 3. — **Venins.**

Le seul venin que j'aie pu mettre en expérience est du venin de scorpion, dont je conservais les vésicules desséchées depuis plusieurs années; il provenait du *Buthus occitanus* (Amor.) et m'avait été envoyé du sud de l'Algérie :

Expérience CCCCLXXXIX. — 2 décembre. Douze vésicules de scorpion desséchées; on les écrase avec un peu d'eau; puis on les soumet à la pression de 18 atmosphères suroxygénées.

(Le liquide est neutre, et n'agit pas sur l'empois d'amidon.)

8 *décembre*. Décompression. Inoculation sous la peau d'un gros rat de la partie liquide (A), et sous la peau (à la cuisse gauche, au niveau du nerf sciatique) d'un jeune rat, une partie des débris solides, macérés dans l'eau (B).

Un quart d'heure après, je regarde le rat (A), et suis assez étonné de le voir déjà sur le flanc, insensible aux yeux qui larmoient, respirant difficilement et avec lenteur, le cœur battant irrégulièrement. Il a, surtout dans les membres postérieurs, des convulsions toniques très-fortes, qui deviennent sub-intrantes, et l'animal périt en une demi-heure environ. Les muscles présentent depuis quelques instants des mouvements fibrillaires fort curieux. Les nerfs n'agissent plus sur les muscles.

Poumons parfaitement sains; sang noir au cœur, à gauche comme à droite; cœur en diastole; sang rougissant à l'air, et se coagulant très-bien; globules intacts; rigidité cadavérique survenant très-vite.

Le rat B est pris une demi-heure après l'inoculation.

D'abord cris indiquant une douleur locale; puis, parésie générale, lenteur des mouvements; respiration très-irrégulière, reste quelquefois 5 ou 6 secondes sans respirer; le cœur suit la respiration.

La patte gauche reste presque toujours en raideur (action locale?). La sensibilité va en diminuant, et est perdue à l'œil (cornée la dernière) avant de l'être aux membres. Légères convulsions, qui paraissent excitables au pincement.

Après trois quarts d'heure, reste couché sur le flanc; la température s'abaisse rapidement; après une heure et demie, elle est de 29°.

Meurt en 2^h environ.

Injection du cerveau et du cervelet; pas d'inflammation locale.

Ainsi l'action du venin de scorpion persiste avec tous les caractères que j'ai autrefois signalés[1], après le séjour dans l'oxygène à haute tension. Cela n'avait, du reste, rien qui pût m'étonner, puisque la matière venimeuse résiste même (celle du scorpion, sans s'y dissoudre) à l'action de l'alcool absolu.

§ 4. — Virus.

J'ai pu faire sur les virus un plus grand nombre d'expériences.

A. — *Vaccine*.

Expérience CCCCXC. — 10 novembre. On vaccine avec du vaccin pris sur un seul enfant, douze nouveau-nés; deux quittent l'hôpital avant le

[1] Contributions à l'étude des venins : le venin de scorpion. *Comptes rendus de la Société de biologie pour* 1865, p. 136.

développement des pustules; sur un troisième, le vaccin ne prend pas; chez les 9 autres, les pustules se développent au nombre de 35 (de 1 à 6) pour 54 piqûres.

Sur le même vaccinifère et sur les mêmes pustules, on remplit ensuite des tubes de Bretonneau, qui sont, du 11 au 18 novembre, soumis à une pression de 23 atmosphères suroxygénées.

18 *novembre*. On vaccine avec le vaccin comprimé sept enfants nouveau-nés. Quatre d'entre eux quittent le surlendemain, avant qu'on ait pu constater aucun développement; sur les trois autres, le vaccin prend, et donne 13 pustules (6, 6, 1) pour 18 piqûres.

(Opérations faites par M. le docteur Budin, alors interne.)

Une expérience aussi nette me paraît suffisante pour conclure. Et ma conclusion, c'est que le virus-vaccin, qui résiste si complétement à l'action de l'oxygène à haute tension, ne doit pas sa vertu spéciale à des êtres vivants (bactéries, vibrions) ou à des cellules (leucocytes, globules spéciaux), agissant à la manière de ferments vrais.

Je suis loin de nier pour cela que les corpuscules irréguliers de formes et de dimensions qui flottent dans le vaccin ne contiennent en eux le principe virulent, comme cela semble très-vraisemblable depuis les recherches de M. Chauveau. Mais il est certain pour moi qu'on ne doit pas y voir des êtres vivant

Peut-être la matière virulente est-elle ainsi précipitée en flocons insolubles; peut-être encore ces globules sont-ils doués de la propriété de fixer le principe actif, comme les globules sanguins fixent l'hémoglobine et les corpuscules amylacés des cellules vertes la chlorophylle.

B. — *Morve*.

Expérience CCCCXCI. — 15 juillet. Pus morveux envoyé d'Alfort par M. le professeur Trasbot.

Quantités égales sont placées dans deux petites bouteilles, sur une hauteur de 1 centimètre environ :

A, à la pression normale.

B, poussé à 20 atmosphères suroxygénées.

21 *juillet*. Décomprimé.

A est pourri.

B n'a aucune odeur.

Le même jour, ces deux pus sont inoculés à deux chevaux.

A, n'a que des accidents locaux, dus évidemment à l'inoculation putride, décollement de la peau et abcès ; guérit.

B, meurt de la morve, après avoir présenté, m'écrit M. Trasbot, « une éruption aussi complète que possible. »

Nos conclusions, pour le virus morveux et les corpuscules qu'il contient, sur le rôle virulent desquels a insisté M. Chauveau, seront donc identiques à celles que nous avons tirées des expériences faites sur le virus-vaccin. Il ne s'agit pas ici non plus d'êtres microscopiques agissant à la façon des ferments vrais.

C. — *Charbon et sang de rate.*

Les recherches de M. Davaine ont attiré l'attention sur le rôle que pourraient jouer, dans l'infection par le virus charbonneux, les êtres microscopiques, les *bactéridies*, dont il a découvert l'existence et la présence constante dans les liquides virulents. Les expériences faites par la méthode des dilutions, des filtrations, des précipitations, ont amené ce savant médecin à déclarer que ces bactéridies étaient vraiment les agents de la virulence, et que, introduites dans le sang d'un animal sain, elles amènent la mort par leur développement prodigieusement rapide. Si bien que le charbon serait, en définitive, une véritable maladie parasitaire.

Mais toutes ces méthodes laissent prise à une objection. Ces êtres microscopiques, dont la nature est encore mal déterminée, pourraient n'être que le véhicule et non la cause créatrice de l'agent virulent dont ils seraient simplement imprégnés.

J'ai donc dû instituer des expériences suivant la nouvelle méthode, mais en prenant les plus grandes précautions : 1° pour que la couche de sang soit assez mince et se laisse pénétrer par l'oxygène ; 2° pour qu'il ne reste pas, sur les limites du liquide sanguin, d'îlots isolés qui se dessécheraient et résisteraient alors parfaitement à l'action de l'oxygène :

Expérience CCCCXCII. — 6 octobre. Sang provenant d'un mouton char-

bonneux (envoi du professeur Trasbot). Ce sang inoculé à des cochons d'Inde a été suivi jusqu'à la quatrième génération virulente.

Soumis en couche mince à 20 atmosphères suroxygénées.

9 *octobre*. Décomprimé ; inoculé à un cochon d'Inde.

10 *octobre*. L'animal meurt à 1 heure après midi.

Expérience CCCCXCIII. — 20 novembre. M. le professeur Trasbot m'envoie de la sérosité prise sur un mouton qui avait été inoculé avec le sang d'un cheval mort de fièvre charbonneuse : beaucoup de bactéridies.

J'en inocule 1/2^{cc}, sous la peau d'un cochon d'Inde.

21 *novembre*. L'animal est trouvé mort le matin.

Je prends un peu de son sang, qui contient des bactéridies, le mêle à de la sérosité épanchée au lieu d'inoculation, et le soumets, *en couche mince* (3^{mm}. environ), à l'action de 20 atmosphères d'un air suroxygéné.

30 *novembre*. Décompression ; le sang est rouge jusqu'au fond. Injection à deux cochons d'Inde.

1er *décembre*. Tous deux sont trouvés morts le matin.

J'inocule avec leur sang un cochon d'Inde et un chien sous la peau.

2 *décembre*. Le cochon et le chien sont morts.

Voilà des expériences dans lesquelles les bactéridies ont dû être tuées par l'oxygène comprimé, et où cependant le sang a conservé toute sa virulence ; la dernière est surtout concluante, car pour l'expérience CCCCXCII la durée de la compression n'avait peut-être pas été suffisante. Elles prouvent donc que cette propriété redoutable n'était pas due, au moins dans le sang que j'ai employé, à l'existence de ces petits êtres. Elles ont été corroborées à mes yeux par des expériences dont le récit ne saurait trouver place ici, et dans lesquelles j'ai vu la matière virulente être précipitée du même sang par l'alcool, filtrée, puis desséchée, sans perdre son activité redoutable, qu'elle pouvait encore transmettre comme auparavant, de génération en génération.

Cependant, je crois qu'il serait imprudent d'appliquer cette conclusion à tous les sangs dits charbonneux, et qu'il faudrait auparavant multiplier les expériences, en employant des sangs de provenances diverses, car il serait possible que plusieurs maladies soient confondues sous la dénomination commune de *charbon*[1].

[1] Voir les discussions de MM. Davaine, Jaillart et Leplat : *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXI, 1865.

SOUS-CHAPITRE V

RÉSUMÉ.

Nous sommes donc maintenant, grâce à ces expériences multiples, en situation de formuler la raison première de la mort des animaux et des végétaux soumis à une tension d'oxygène assez forte. Laissons là l'appareil des convulsions violentes que présentent les animaux supérieurs et allons au fond des phénomènes.

La vie n'est que le résultat d'un ensemble complexe et harmonique de modifications chimiques appartenant au groupe des fermentations: les unes sont dues à l'intervention directe des éléments figurés du corps; les autres sont la conséquence de l'action de substances instables, solubles, analogues à la diastase, préalablement formées par l'action des éléments figurés. Dans l'intérieur même de chacun des éléments anatomiques, le mouvement vital ne s'entretient que par l'action de ces substances qui y naissent, y agissent, s'y transforment, s'y détruisent.

Mais, pour que la vie s'entretienne, il est nécessaire que les phénomènes multiples s'exécutent avec une régularité, ou mieux une harmonie constante. Quand leur intensité seule est modifiée, sans que leurs rapports soient altérés, l'activité vitale diminue, se suspend même parfois, et pendant un long temps, pour reparaître lorsque des conditions plus favorables se présentent. C'est ce qui arrive par le froid, par la dessiccation, et, pour rentrer dans notre sujet, par la diminution de pression. Les graines, conservées intactes dans le vide, germent lorsqu'on les ramène à l'air; la viande, restée fraîche dans le vide, pourrit lorsque l'oxygène vient rendre l'activité à ses vibrions.

Lorsque, au contraire, ce n'est plus seulement la quantité, mais la qualité même des modifications chimiques qui se trouve altérée, des troubles surviennent, dont le détail est loin d'être connu et qui ont de telles conséquences, qu'en

vain rétablit-on les conditions normales, l'activité vitale ne se rétablit pas. C'est ce qui arrive par la chaleur, par l'humidification excessive, et par l'augmentation de pression. Les graines conservées intactes en apparence dans l'air comprimé, ne germent plus lorsqu'on les ramène à la pression normale, et c'est en vain que l'oxygène, sous la tension habituelle, entre en contact avec les vibrions morts, et définitivement morts, qui peuplaient la viande préalablement soumise à l'oxygène comprimé.

Il n'est pas besoin d'aller jusqu'à la mort pour mettre en évidence ces importantes différences. Un animal soumis à la décompression est pris, à un certain moment, de convulsions, que fait immédiatement cesser le retour à la pression normale : *Sublatâ causâ, tollitur effectus*. Mais les convulsions dues à l'excès de pression persistent alors même que la cause apparente a été supprimée : c'est que la cause réelle, l'altération chimique existe encore, agit encore et excite les centres nerveux.

Il se fait donc, sous l'influence de l'oxygène en excès de tension, dans l'intérieur même des éléments anatomiques isolés en monocellules ou groupés en tissus, des altérations chimiques donnant naissance à des produits durables, dont la présence trouble l'harmonie nécessaire à la persistance de la vie, chez l'élément d'abord, chez l'être complexe ensuite.

Ce sont là sans doute des formules un peu vagues; mais ce vague tient à l'état général de la science et ne doit pas m'être reproché. Que savons-nous des transformations moléculaires qui se passent régulièrement dans les tissus, au sein et au contact des éléments anatomiques? Le peu que nous en savons, je l'ai soumis à l'expérience; j'ai vu que la transformation de l'amidon en glycose, que la réduction de la glycose en ses éléments premiers, sont ralentis par l'oxygène sous forte tension. Or, ce sont là des actes généraux qui se manifestent, on le sait, dans la vie d'une cellule de mycoderme, comme dans celle d'un mammifère ou d'un oiseau. Ils sont ralentis, mais cependant le ferment soluble qui les produit n'est en rien altéré et reprendra plus tard, à la pression nor-

male, toute son activité. Pourquoi donc, après ce retour à la pression normale, la vie ne reparaît-elle pas, comme après la suspension due au vide ou au froid? Est-ce que le ferment, dont l'action régulière a diminué, en aurait acquis une nouvelle qui aurait produit cette substance durable dont nous cherchons l'origine? Est-ce la matière fermentescible, au contraire, qui s'est altérée et se refuse ensuite à l'action du ferment conservé?

Il est bien difficile de répondre aujourd'hui à ces questions. Tout ce que je puis dire, c'est que les substances soumises à la compression : viande, œuf, lait, pain, présentent rapidement une réaction acide, due probablement en partie à de l'acide lactique. Il n'est pas impossible que la présence de cet acide dans l'intérieur même des éléments anatomiques soit la cause de la mort.

Mais, sans poursuivre plus longtemps des phénomènes dans l'intimité desquels nous ne saurions entrer davantage, nous sommes autorisés à dire, par les nombreuses expériences dont le récit a tenu tant de pages, que sous l'influence de l'oxygène en tension, il survient, dans l'intérieur même de chaque élément anatomique, des altérations chimiques incompatibles avec la vie de cet élément. Ceci posé, tous les phénomènes, si variés, que nous avons énumérés jusqu'ici, s'enchaînent et s'expliquent aisément.

S'agit-il d'un être vivant réduit, dans sa structure élémentaire, à une cellule ou à un petit nombre de cellules? Comme son activité vitale se manifeste le plus souvent à nous par les phénomènes connus sous le nom de fermentations vraies (alcoolique, acétique, lactique, putréfaction), sa mort aura cette conséquence que ces phénomènes seront arrêtés pour toujours, à moins d'un ensemencement de ferments nouveaux.

S'agit-il, pour aller de suite à l'extrême inverse, d'un animal des plus compliqués dans sa structure? Les éléments anatomiques qui forment ses tissus sont menacés de mort. Ceux d'entre eux qui jouaient dans la chimie vivante le rôle des ferments figurés, cessent d'agir, ou diminuent d'énergie dans l'action. Les phénomènes de fermentation zy-

motique qui se passent en dehors comme en dedans d'eux diminuent d'intensité et s'altèrent. Leurs qualités personnelles, leur contractibilité, leur propriété de transmettre les excitations ou de les transformer en réaction, se modifient et tendent à disparaître.

De là, la dépression générale des phénomènes chimiques de la vie; de là, moins d'oxygène consommé, moins d'acide carbonique produit, moins d'urée excrétée ; de là, l'apparition dans les urines du sucre qui n'est plus suffisamment détruit; de là, enfin, un abaissement énorme de la température.

Et en même temps, — comme toutes les fois qu'un trouble considérable et rapide est apporté dans l'équilibre des fonctions d'un animal supérieur (hémorrhagie, asphyxie, etc.), c'est le système nerveux central qui, le premier excité, manifeste par ses réactions violentes le danger qui menace l'organisme entier, — en même temps, dis-je, apparaissent ces convulsions qui témoignent, par leur persistance après le retour à la pression normale, qu'une altération chimique profonde s'est faite soit dans les tissus mêmes de la moelle épinière, soit dans le sang qui les baigne et leur apporterait ainsi une sorte de poison. Viennent enfin les contractions musculaires modifiées dans leur manière d'être, ressemblant à des crampes, comme il arrive, du reste, à tout muscle qui meurt.

Entre ces deux extrêmes, de la cellule isolée et du vertébré à sang chaud, tous les intermédiaires : d'un côté, les moisissures, les algues, les graines, les végétaux vasculaires; de l'autre, les annélides, les mollusques, les insectes, les poissons, les reptiles. Tout l'ensemble des êtres vivants, en un mot, périt sans retour quand la tension de l'oxygène s'élève suffisamment. Aucun, on peut l'affirmer, ne résisterait à une tension correspondante à la pression de 20 atmosphères d'air. Nous aurons à revenir sur les inductions que suggère ce phénomène inattendu.

CHAPITRE VII

DES EFFETS DES CHANGEMENTS BRUSQUES DANS LA PRESSION BAROMÉTRIQUE.

J'ai parlé exclusivement jusqu'ici des phénomènes consécutifs aux modifications graduellement apportées dans la valeur de la pression barométrique, modifications qui se sont réduites, ainsi qu'on a pu le voir, à des phénomènes d'ordre physico-chimique, suite de l'existence dans le sang de quantités plus ou moins grandes d'oxygène. Mais c'est seulement dans ces conditions de lenteur que j'ai pu être amené à nier l'influence de la pression en tant qu'agent direct, d'ordre physico-mécanique. On comprend qu'il puisse en être autrement, lorsqu'il s'agit de modifications brusques et considérables.

Les expériences rapportées dans le présent chapitre ont eu pour but d'élucider cette question.

SOUS-CHAPITRE PREMIER

INFLUENCE DES AUGMENTATIONS BRUSQUES DE PRESSION.

Cette partie du travail ne sera pas longue. L'augmentation soudaine de pression ne semble avoir sur les animaux aucun effet appréciable.

Tout d'abord, lorsqu'il s'agissait d'animaux préalablement soumis à une pression très-faible, comme celle dont il est question dans les chapitres I et III, le rétablissement immédiat de la pression normale n'avait aucun inconvénient apparent. Bien au contraire, lorsque la dépression était très-forte, son effet favorable se manifestait aussitôt, et l'animal revenait de suite à un état normal. On le voyait alors, surtout lorsqu'il s'agissait d'un mammifère herbivore, se dégonfler sensiblement, par le retour au volume primitif des gaz intestinaux, que la dépression avait dilatés.

Les expériences sur l'augmentation brusque de la pression ont été faites sur des oiseaux ou des rats placés dans le gazogène à eau de Seltz. Ce récipient étant mis, par un tube de cuivre, en rapport avec le gros récipient de métal (fig. 33), où la pression était poussée à 10 atm., on ouvrait le robinet de communication *c*, et l'équilibre de pression s'établissait subitement. L'animal semblait alors se tapir, s'aplatir, comme effrayé; mais au bout de quelques minutes, il reprenait toute sa vivacité.

Il n'y a pas lieu de s'étonner de ces résultats négatifs, puisque nous avons vu que les ouvriers de tubes et les plongeurs à scaphandres se soumettent à des pressions soudaines de plusieurs atmosphères. Et cela, sans ressentir d'autres inconvénients que des douleurs d'oreilles plus ou moins vives, douleurs dont ne paraissent pas souffrir les animaux, dont la trompe d'Eustache s'ouvre sans doute plus facilement que la nôtre.

L'influence des augmentations brusques de la pression barométrique, presque nulle chez les animaux aériens, se fait au contraire très-énergiquement sentir chez les poissons munis d'une vessie natatoire. Que celle-ci soit close ou non, il suffit d'augmenter un peu la pression de l'air qui surmonte l'eau où nage le poisson, pour voir immédiatement celui-ci précipité au fond du vase d'où les plus puissants efforts musculaires ne peuvent le détacher que pendant un instant. Mais au bout de quelques jours, pendant lesquels la compression a été maintenue, il reprend toute liberté d'action. C'est que, pendant

cet intervalle, une sécrétion nouvelle de gaz oxygène a rendu à sa vessie natatoire son volume primitif, et à son propre corps, sa densité primitive. Tous ces faits, dont j'ai souvent été témoin, ont été parfaitement décrits et expliqués par M. le docteur Armand Moreau.

SOUS-CHAPITRE II

INFLUENCE DE LA DIMINUTION BRUSQUE DE PRESSION A PARTIR D'UNE ATMOSPHÈRE.

L'étude de cette influence présente de grandes difficultés, sans avoir grand intérêt. En effet, pour les faibles dépressions, si brusquement qu'on les produise, l'action est à peu près nulle chez les animaux aériens ; pour les dépressions fortes, elle se combine avec celle de l'anoxyhémie, à côté de laquelle elle n'est que de bien médiocre importance.

Quand on tombe brusquement à une demi-atmosphère, les animaux tressautent, bondissent, quelquefois tournent sur eux-mêmes, mais se remettent bientôt, ou du moins ne présentent plus que les troubles asphyxiques dus à la pauvreté de leur sang en oxygène.

Ces marques de gêne sont dues sans aucun doute à la dilatation soudaine de tous les réservoirs gazeux de l'organisme, et l'on conçoit qu'ils sont particulièrement considérables chez les oiseaux où ces réservoirs s'étendent dans le corps tout entier; mais presque aussitôt, chez ces derniers, l'équilibre se rétablit, à cause de la communication des sacs aériens avec la trachée, et, par suite, avec l'intérieur. Les mammifères, et surtout les herbivores, eux, sont un peu gonflés par la dilatation des intestins et de l'estomac, mais ils rejettent assez vite les gaz qui les gênent. C'est ce que montre du reste l'expérience suivante :

Expérience CCCCXCIV. — 9 juin. Chien qui vient d'être tué par une électrisation du cœur.

On introduit dans le rectum, à l'aide d'une petite vessie qui oblitère

parfaitement l'anus, un tube de verre coudé, dont l'extrémité plonge de quelques millimètres dans un verre plein d'eau. L'animal est ainsi disposé dans l'un des grands cylindres de la figure 27 (p. 631).

On fait alors, aussi rapidement que possible, la dépression jusqu'à 34c; on voit pendant ce temps les bulles de gaz se succéder avec vitesse en sortant du tube anal; cependant la paroi abdominale se gonfle visiblement.

On laisse rentrer l'air; la paroi s'aplatit; il y a encore une notable quantité de gaz dans l'intestin.

Le même effet est produit, ainsi qu'on le sait depuis longtemps, chez les poissons munis d'une vessie natatoire s'ouvrant dans l'œsophage, comme les cyprins. Si la dépression ne marche pas trop vite, on voit s'échapper de leur bouche des bulles de gaz sorties de la vessie; puis, quand on ramène la pression normale, ils tombent au fond de l'eau, leur densité étant devenue trop forte. Dans ces conditions, ils reviennent avec efforts à la surface pour y avaler de l'air et remplir ainsi à nouveau leur vessie; pour me renseigner sur cette absorption directe, qui pouvait être mise en doute, j'ai institué l'expérience suivante :

Expérience CCCCXCV. — 1er juin. Une carpe pesant une demi-livre est soumise, dans l'eau, à une dépression de deux tiers d'atmosphère. Elle lâche une grande quantité d'air.

On place alors le cristallisoir où elle nage sous une cloche contenant un mélange d'air, d'oxygène et d'hydrogène en proportions non dosées.

3 *juin*. L'animal meurt; sa vessie natatoire contient 11cc,4 de gaz ainsi composé, pour 100 : hydrogène 33,3, oxygène 16,7, azote 50,0.

Pour le dire en passant, les cyprins, dans l'état ordinaire, tout en venant à la surface de l'eau avaler de l'air, ne l'introduisent pas dans leur vessie, et ne s'en servent vraisemblablement que pour aérer plus énergiquement leurs branchies. Ainsi :

Expérience CCCCXCVI. — 5 juin. Carpe pesant 200 grammes. Le vase où elle nage est placé sous une cloche contenant un mélange d'oxygène et d'hydrogène non dosé.

9 *juin*. On tue l'animal.

Il n'y a pas d'hydrogène dans la vessie natatoire.

Les poissons à vessie close, devenant plus légers que l'eau lorsqu'on les décomprime, arrivent à la surface et pé-

rissent, par éclatement de la vessie surgonflée. Ce fait est depuis longtemps bien connu des pêcheurs, qui, pour éviter la projection des viscères, qui souillerait le poisson, percent la vessie avec une pointe de fer ou de bois.

Le même phénomène, je dis ceci pour ne plus revenir sur cet ordre de faits, s'observe sur les poissons à vessie close qu'on a maintenus pendant quelques jours sous l'influence d'une augmentation de pression :

Expérience CCCCXCVII. — 4 mai. Épinoches dans appareil cylindrique en verre. Soumises à 2 atmosphères de pression, vont immédiatement au fond de l'eau.

10 *mai.* Nagent librement. On décomprime ; arrivent immédiatement à la surface. Retirées, meurent.

Ainsi, ces poissons avaient reformé dans leur vessie une quantité de gaz suffisante pour reprendre, avec leur densité première, la liberté de leurs mouvements. Mais la décompression leur a été fatale.

La vessie aérienne close est donc fort mal dénommée vessie *natatoire*, puisqu'elle nuit au poisson et le contraint de rester à une certaine profondeur d'eau, sous peine, ou de venir éclater à la surface, ou de couler indéfiniment dans la profondeur, s'il dépasse les faibles limites entre lesquelles il lui est permis de se mouvoir verticalement.

J'ai pu obtenir un résultat analogue à celui de l'expérience CCCCXCVII avec des grenouilles rapidement décomprimées de 5 ou 6 atmosphères à la pression normale. L'air des poumons se dilatant énormément, fermait lui-même l'orifice trachéal; l'estomac sortait par la bouche, le poumon se crevait, et le corps était transformé en une sorte de ballon fortement gonflé. Tout cela est chose simple, et se pouvait deviner.

Mais revenons aux animaux aériens. Quand on les décomprime très-rapidement, ils périssent aussi presque soudainement. Peut-on, dans cette mort, attribuer une part importante à la brusquerie de la décompression? Cela revient presque à la question que nous avons déjà posée. L'influence d'ordre purement mécanique ou physique de la décompres-

sion est-elle appréciable? Les expériences rapportées dans les chapitres précédents montrent qu'elle est bien faible, en tout cas, puisqu'un animal peut, par exemple (expérience CCLI), être très-rapidement amené sans encombre à la pression de 7 cent., à la condition que l'air soit très-chargé d'oxygène.

Examinons cependant les résultats de quelques expériences faites spécialement en vue de la décompression brusque :

Expérience CCCCXCVIII. — 2 mars. Chien pesant 2kil,300, mis dans cloche de 31 litres. Cette cloche (fig. 27, C) est en rapport, par un tube de caoutchouc à parois épaisses, avec un vaste récipient de tôle (B) où la pression a été amenée à 10c.

On ouvre un robinet de communication, et la pression tombe immédiatement, dans la cloche, à 12c. Aussitôt, agitation comme convulsive, cris, hémorrhagie nasale avec écume; mort en 3 ou 4 minutes. Les poumons présentent des ecchymoses qui ne disparaissent pas complétement par l'insufflation. Bronches et trachée pleines d'écume sanguinolente. Sang noir dans les cavités gauches du cœur, très-noir à droite, sans gaz libres.

Expérience CCCCXCIX. — 7 mars. Chat de grande taille. Même procédé expérimental.

La pression est amenée d'un coup à 16c; l'animal se dresse presque aussitôt, s'agite avec violence, bâille. Au bout de 2m, tombe sur le flanc, sa langue noircit; à 3m, sa pupille se dilate, des frissons surviennent dans les muscles peaussiers. Mort après 6m.

Retiré aussitôt, l'animal, très-gonflé, s'affaisse quand la pression normale se rétablit; pas de gaz dans le sang; sang noir dans le cœur gauche, encore plus dans le cœur droit; veines pulmonaires rouges; ecchymoses pulmonaires.

Expérience D. — 15 mars. Moineau mis instantanément, par un dispositif analogue, à 12c de pression.

Agitation; mort très-rapide sans vraies convulsions.

Pas de gaz libres dans le sang.

Expérience DI. — 18 juin. Chat amené très-rapidement à 12c de pression.

Meurt après une phase très-rapide de convulsions.

Poumons congestionnés, se déplissent et blanchissent quand on les insuffle; les parties les plus congestionnées ne s'enfoncent pas dans l'eau.

Pas de gaz dans le sang, examiné avec grand soin.

Expérience DII. — 16 décembre. Deux rats, mis dans une cloche de 2 litres, sont amenés aussi rapidement que possible (2 ou 3 min.) à la pression de 4c,5.

Tournent sur eux-mêmes, bondissent, meurent sans véritables convulsions.

Retirés aussitôt et ouverts l'un A à l'air, l'autre B sous l'eau : les cœurs battent encore.

A. Sang examiné à la loupe dans les vaisseaux, puis au microscope : pas de bulles de gaz. Poumons très-rouges par places, les morceaux rouges vont au fond de l'eau; ils se déplissent par insufflation.

B. On ne voit pas de bulles de gaz se dégager sous l'eau.

Expérience DIII. — 16 décembre. Rat tué par le même procédé, à la même pression; mais maintenu pendant 10 minutes à $4^{c},5$.

Pas de gaz dans le sang, examen minutieux.

Poumons adhérents au thorax, mais revenant sur eux-mêmes quand on l'ouvre; rosés avec fines piquetûres, surnageant partout.

Le foie broyé avec du noir animal donne énormément de sucre.

En rapprochant ces quelques faits de ceux qui ont été déjà rapportés, et dans lesquels la dépression avait été très-brusquement obtenue, on voit que les phénomènes physiques se réduisent à bien peu de chose, même alors que la rapidité de l'expérience a dû en augmenter l'importance. Nous avons déjà parlé de la dilatation des gaz intestinaux; quand le vide est soudain, ils n'ont pas le temps de s'échapper, et doivent contribuer pour une part, bien petite sans doute, aux angoisses de l'animal.

Les ecchymoses pulmonaires ne signifient rien, puisqu'on les trouve dans l'asphyxie simple, à la pression normale.

Les hémorrhagies pulmonaires ne sont point un fait constant; d'autre part, on les voit survenir dans certains cas lorsque la pression a été diminuée lentement; il est donc difficile de les attribuer à la brusquerie de la dépression. Je considérerais plutôt comme ayant cette cause l'aspect singulier que m'ont présenté les poumons du chien (Exp. CLXXX) dont l'histoire se trouve rapportée page 651 : « Les poumons, avons-nous dit, sont, par larges places, rouges, allant au fond de l'eau, mais se déplissant parfaitement par l'insufflation. » Cette espèce d'état fœtal me paraît dû à une sorte de succion exercée de place en place, par la pression de 7 centimètres sous laquelle était mort l'animal.

On a vu, dans la partie historique de cet ouvrage, que les

anciens auteurs attachaient beaucoup d'importance à ce phénomène que certains d'entre eux considéraient comme constant, et comme s'étendant au poumon tout entier. Nous avons rapporté sur ce point les observations de Musschenbroëck (p. 208), de Guideus (p. 212) et de Veratti (p. 214).

Je n'ai jamais vu, quant à moi, les poumons d'animaux morts par la décompression brusque, rétractés complétement et plus lourds que l'eau, dans leur masse entière. Sans doute, comme le pensaient les anciens, sans s'exprimer bien clairement, lorsque la pesanteur de l'air sera réduite à une valeur inférieure à la force de l'élasticité pulmonaire, le poumon devra revenir sur lui-même, et un vide relatif se faire dans les plèvres. Mais, d'abord, ceci ne peut se faire qu'à des pressions inférieures à celles sous lesquelles meurent les animaux, puisque l'élasticité pulmonaire d'un chien, même dans l'état d'inspiration maximum, même ajoutée à la pression négative, ne dépasse pas 5 ou 6 centimètres de mercure; cette valeur est encore moindre pour les animaux plus petits. Enfin, en supposant cet espace vide dans les plèvres, il est évident que, lorsqu'on rétablira la pression normale, le poumon devra être refoulé dans sa position primitive, sans quoi les côtes devraient se briser sous l'effort de la pression atmosphérique, comme je l'ai autrefois montré expérimentalement; il en résulte que ce phénomène se fût-il produit, on n'en devra pas retrouver de traces à l'autopsie. Pour que la rétraction pulmonaire puisse persister, il faudra ou bien que lors du rétablissement brusque de la pression normale, quelque vésicule se soit rompue, laissant ainsi pénétrer de l'air dans la plèvre; ou bien qu'après un long séjour dans le vide, du gaz ou des liquides s'y soient exhalés, et c'est probablement pour cette raison que, selon Veratti, on ne trouve les poumons dans cet état que lorsque les animaux sont restés quelque temps sous la cloche pneumatique.

Quant au dégagement de gaz dans le sang, auquel les anciens auteurs, depuis Robert Boyle (voy. p. 210), ont attribué un rôle si important, et que F. Hoppe (voy. p. 259) a considéré comme la cause principale de la mort, je dois dire que,

pas plus quand la décompression a été brusque que dans le cas où elle a été plus ménagée, je n'ai trouvé de gaz libres dans les vaisseaux. Et cependant, *in vitro* la libération des gaz du sang commence sous une faible dépression. En effet :

Expérience DIV. — 23 juin. On remplit deux tubes de verre, l'un de sang, défibriné et bien reposé, l'autre d'eau. Deux heures après, aucune bulle de gaz ne s'en étant dégagée, on commence à diminuer la pression, en s'arrêtant de 10 en 10^c pendant 5^m.

A 66^c de pression, on ne voit aucune bulle de gaz se dégager;

A 56^c, non plus ;

A 46^c, des bulles apparaissent sur les parois des tubes, à la fois dans l'eau et dans le sang ;

A 36^c, le dégagement est également abondant dans les deux tubes.

Un dégagement gazeux doit donc avoir lieu dans les vaisseaux sanguins, et d'abord dans le système veineux, où la pression est moindre. Mais il faut faire remarquer que l'oxygène, en admettant qu'il sorte du sang, doit être immédiatement absorbé par les tissus qui en sont avides ; que l'acide carbonique doit avec la plus grande facilité traverser les membranes pulmonaires, et que tout doit se borner à l'azote, dont la proportion (de 1 à 2 pour 100 volumes de sang) est si faible. Encore, comme le dégagement est très-lent, a-t-il sans doute le temps de se diffuser par la voie du poumon. Tant il y a que, soit qu'on tire le sang sur l'animal vivant, comme nous avons pu le faire à 17 centimètres de pression (Expér. CLXXIX, p. 641), soit qu'on examine le sang de l'animal tué par dépression brusque ou ménagée, on n'y trouve pas de gaz libres. (Voy. particulièrement les expériences DI, DII et DIII, où la recherche des gaz a été faite avec les soins les plus minutieux.)

SOUS-CHAPITRE III

INFLUENCE DE LA DIMINUTION BRUSQUE DE PRESSION A PARTIR DE PLUSIEURS ATMOSPHÈRES.

Le sujet de nos recherches devient ici beaucoup plus intéressant. Il se rapproche, en effet, des phénomènes que nous avons signalés dans la partie historique, en parlant des ouvriers qui travaillent aux piles des ponts, et des plongeurs à scaphandres.

Je commencerai, suivant mon habitude, par le récit détaillé d'un certain nombre d'expériences. J'expose d'abord celles dans lesquelles la décompression a été obtenue en un seul temps et aussi rapidement que possible.

§ 1er. — **Décompression en un seul temps.**

A. — *Expériences faites sur des moineaux.*

Expérience DV. — 20 juillet. Moineau franc. Récipient à eau de Seltz. Amené en 20^m à 8 atmosphères; laissé pendant 5^m sous pression. Ouvert d'emblée grand robinet et décomprimé en quelques secondes.

S'agite au moment de la décompression, puis ne paraît pas malade, et survit.

Expérience DVI. — 3 août. Moineau franc. Même appareil. Porté à 8 atmosphères, à midi et demi.

A 2^h, malade; à 2^h 3/4, très-malade. Pris de l'air qui contient 2, 1 pour 100 de CO^2. Tension : $2,1 \times 8 = 16,8$.

Ouvert soudain le grand robinet; l'oiseau est renversé violemment en arrière; enlevé aussitôt : sa température rectale est 25°, celle de l'air extérieur étant de 20°; sang des veines jugulaires très-rouge, on n'y voit pas de gaz. Reste sur le dos et meurt en 10^m. A la mort, le sang des veines est noir, on voit des bulles de gaz dans les jugulaires.

Expérience DVII. — 1er mai. Moineau franc. Récipient cylindrique en verre.

$2^h 5^m$, mis à 10 atmosphères; entouré de papiers imbibés d'une solution de potasse, en telle sorte que le CO^2 soit absorbé au fur et à mesure de sa production.

A $3^h 40^m$, l'oiseau paraît mort; la pression est de 9 atmosphères **1/2**;

l'air contient 14,1 d'oxygène, et sans doute très-peu d'acide carbonique. On décomprime rapidement. Presque immédiatement, l'oiseau qui a levé la tête au moment où l'on ouvre le robinet, devient très-vif; suffusions sanguines au crâne. Survit.

Expérience DVIII. — 10 mai. Moineau franc. Appareil cylindrique. De 4^h 15^m à 4^h 20^m, mis à 16 atmosphères. Présente après 5 ou 6^m des trépidations avec grande angoisse, petites convulsions, etc. caractéristiques de l'empoisonnement par l'oxygène, dont la tension est $16 \times 20,9 = 334$.

A 4^h 30^m, décomprimé en 1^m; ne paraît pas souffrir de la décompression; pas de gaz dans les jugulaires, où le sang est très-rouge. Suffusions sanguines crâniennes énormes. Température rectale 35°.

A 4^h 35^m, grande convulsion, meurt. Sa température rectale est 34°.

Le sang est très-rouge dans le cœur gauche, sans gaz. Dans le cœur droit et les jugulaires, il est noir avec gaz en bulles très-fines; ces bulles existent dans le système porte.

Expérience DIX. — 27 octobre. Moineau (récip. cylind.).
Amené à 8 atmosphères.
Décomprimé en 5 secondes.
Sorti de l'appareil, ne paraît nullement gêné.

Expérience DX. — 27 octobre. Moineau (récip. cylind.).
Amené à 10 atmosphères.
Décomprimé en 5 secondes.
Pas d'accident, survit.

Expérience DXI. — 27 octobre. Moineau (récip. cylind.).
Porté à 12 atmosphères. Reste pendant ce temps immobile au fond de l'appareil.
Décomprimé brusquement, s'élance au sommet du cylindre, puis retombe.
Est mort avant qu'on l'ait retiré de l'appareil.
Air en quantité dans les jugulaires et le cœur droit.

Expérience DXII. — 27 octobre. Moineau (récip. cylind.).
Porté à 14 atmosphères.
Décomprimé brusquement; meurt en quelques minutes.
Air en quantité dans les jugulaires et le cœur droit.

Expérience DXIII. — 27 octobre. Moineau (récip. cylind.).
Porté à 14 atmosphères.
Décomprimé brusquement, sans accidents.
Est trouvé mort le lendemain.

Expérience DXIV. — 27 octobre. Moineau; appareil cylindrique.
Porté à 15 atmosphères, et décomprimé brusquement aussitôt.

Sorti de l'appareil, ne peut marcher, bat des ailes, a des convulsions, et meurt bientôt.

Air en quantité dans les veines jugulaires et le cœur droit.

Expérience DXV. — 29 juin. Deux moineaux sont portés en une heure à 7 atmosphères de pression, sous courant d'air entretenu par le gros cylindre en tôle.

A ce moment, le caoutchouc de communication crève ; la dépression est instantanée.

Les deux oiseaux meurent en un quart d'heure.

Il faut ajouter à ces expériences faites sur les moineaux les résultats d'un grand nombre d'autres déjà rapportées, dans un autre but, au sous-chapitre du chapitre Ier. Nous y reviendrons plus bas.

Je laisse momentanément de côté les réflexions que méritent ces expériences pour arriver à celles qui ont été faites sur les mammifères.

D'abord les rats, pour lesquels on a employé généralement les petits appareils en verre.

B. — *Expériences faites sur des rats.*

Expérience DXVI. — 9 août 1871. Rat. Récipient à eau de Seltz.

$9^h 25^m$, mis à 7 atmosphères.

$10^h 10^m$, pression tombée à 6 1/2 ; l'animal est enroulé en boule, hérissé ; 75 respirations.

J'ouvre brusquement le grand robinet; l'animal se réveille aussitôt, et ne paraît pas souffrir.

Expérience DXVII. — 10 août. Même animal, même appareil.

$4^h 10^m$, mis à 6 atmosphères.

$5^h 25^m$, respirations difficiles, dicrotes ; l'animal est couché en rond dans le fond du vase.

Pris air, qui contient 5,2 p. 100 de CO^2. Tension : $5{,}2 \times 6 = 31{,}2$.

La pression tombe de ce fait à 5 1/2. J'ouvre brusquement le grand robinet. L'animal se remet presque de suite sur ses pattes, et va tout à fait bien.

Expérience DXVIII. — 12 août. Même animal, même appareil.

Mis à $4^h 15^m$ à 6 atmosphères 1/2.

L'appareil perd ; à 6^h, la pression est de 4 atmosphères 1/2 ; l'animal est fort malade. Je prends de l'air, qui contient 6,1 p. 100 de CO^2. Tension : $6{,}1 \times 4{,}5 = 27{,}4$.

J'ouvre en plein le robinet ; le rat ne se remet pas de suite, mais il va bien le lendemain.

Toutes les expériences dont le récit va suivre ont été faites dans le grand cylindre en tôle d'acier représenté figure 33 (p. 655). Le gros robinet qu'on ouvre brusquement est celui désigné par *c* :

Expérience DXIX. — 24 mai. Deux rats dans le grand appareil cylindrique (expérience faite devant la Commission de l'Institut).

On les porte à 8 atmosphères 1/2 ; la décompression est faite en 2^m.

Les rats courent au sortir de l'appareil ; quelques minutes après, ils se paralysent et meurent. On trouve du gaz dans tout le système veineux.

C. — *Expériences faites sur des lapins.*

Expérience DXX. — 22 juin. Lapin.
Porté à 8 atmosphères. Décomprimé en 3^m.
Oreilles d'un rouge vif ; aucun accident ni immédiat ni consécutif.

Expérience DXXI. — 7 novembre. Deux lapins.
Portés à 7 atmosphères. Décomprimés en 2^m 1/2.
Aucun accident.

Expérience DXXII. — 10 novembre. Mêmes animaux.
Portés à 8 atmosphères 1/8 ; décomprimés en 2^m1/4.
Aucun accident ni immédiat ni consécutif.

Expérience DXXIII. — 15 novembre. Lapin.
Porté à 6 atmosphères 1/2.
Décomprimé en 4^m 1/2.
Aucun effet.

D. — *Expériences faites sur les chats.*

Expérience DXXIV. — 23 mai. Chat mâle, extraordinairement vigoureux et sauvage.

Porté à 10 atmosphères. Décompression brusque.

Saute, bien portant en apparence, hors de l'appareil et va se cacher sous un meuble.

Une demi-heure après, on l'y retrouve paraplégique. Les membres postérieurs sont raides, avec les ongles sortis ; ils sont sensibles, ainsi que la queue, mais n'obéissent plus à la volonté.

On fait rendre à l'animal des urines sanglantes qui contiennent des spermatozoïdes.

Le sphincter anal est contracté.

24 mai. Même état; seulement la queue et le train postérieur sont tout à fait insensibles, et en relâchement. On obtient, en pinçant une patte, des actes réflexes très-nets, mais qui ne passent pas d'un membre à l'autre.

La vessie est énormément distendue par une urine très-chargée de sang. Les sphincters anal et vésical sont fortement serrés.

L'animal miaule faiblement; il est très-faible, se traîne difficilement avec les pattes antérieures; temp. rectale 33°.

Tué par section du bulbe.

Muqueuse vésicale, avec hémorrhagies en piqueté; pas de sang dans les uretères, ni les bassinets.

Rien de notable aux poumons, au cœur, au cerveau.

Pas d'hémorrhagie ni de congestion médullaire; mais au niveau des deux dernières vertèbres thoraciques, des deux premières lombaires, existe un ramollissement médullaire tellement avancé que sur certains points (dernière thoracique), la moelle s'écoule comme de la crème. On y retrouve au microscope les éléments nerveux intacts, sans trace d'épanchement sanguin.

Expérience DXXV. — 17 juin. Chat.

De $12^h\,20^m$ à $1^h\,30^m$, porté à 10 atmosphères. A $1^h\,39^m$, décomprimé subitement en 3^m.

Sorti de l'appareil, court en tous sens comme effaré.

A $1^h\,48^m$, commence à se paralyser du train postérieur; à $1^h\,50^m$, est sur le flanc, sans pouvoir se relever.

Pupilles contractées, la gauche plus que la droite; temp. rectale 39°,5; 140 pulsations régulières; 36 respirations difficiles et irrégulières.

Motricité et sensibilité complétement abolies dans les membres postérieurs et la queue.

2^h. Plus de respirations; mouvements du cœur toujours réguliers.

Autopsie immédiate. — Oreillettes se contractent encore; en piquant celle de droite, il en sort du sang battu d'air et mousseux; celle de gauche, au contraire, ne contient pas d'air.

En mettant à découvert la moelle, on voit dans les veines des méninges une grande quantité de petites bulles d'air; il en sort également des vaisseaux de la moelle divisée en travers. Pas de trace d'hémorrhagies ni de congestions médullaires.

Expérience DXXVI. — 22 juin. Chat de l'expérience DLXVII (placé avec lapin de DXX).

$3^h\,20^m$, commencé la compression. A 4^h, 5 atmosphères 1/2; la machine motrice s'arrête. Remise en marche à $4^h\,20^m$; à $4^h\,45^m$, 8 atmosphères. Courant d'air entretenu sous pression.

A $4^h\,50^m$, décompression en 3 minutes.

Le chat saute hors de l'appareil et s'enfuit.

A 5^h, il est pris d'un accès convulsif, avec une agitation violente qui dure environ 5 minutes. On voit, pendant ces mouvements désordonnés

et indescriptibles, le train postérieur se raidir progressivement et devenir immobile, tandis que le train antérieur et la tête sont en proie aux plus étranges contorsions. A maintes reprises l'animal, qui se roule sur lui-même, se retourne et mord avec une sorte de fureur ses pattes postérieures et ses cuisses.

Après 5 minutes, calme relatif; pupille gauche dilatée outre mesure; paraplégie à peu près complète. Défécation par contraction intestinale, le sphincter anal n'étant point paralysé. Urination; pas de sang ni de sperme.

$5^h 30^m$. Je présente l'animal à la Société de biologie; la paraplégie est complète pour le mouvement et la sensibilité. Les pupilles sont à l'état normal.

$5^h 45^m$. Mieux manifeste; la jambe gauche est sensible, et l'animal la remue un peu, et lorsqu'on le soutient, s'appuie même un peu dessus; rien à la jambe droite.

$6^h 15^m$. Celle-ci revient un peu à son tour; la queue commence à être sensible.

23 *juin*. La paraplégie est redevenue complète, et a même envahi un peu la région dorsale inférieure.

Les jours suivants, paralysie plus complète encore et un peu ascendante. Meurt le 26, la vessie distendue; on n'a pu le faire uriner; il a mangé.

Autopsie. — Toute la moelle épinière est un peu ramollie; elle est diffluente au-dessous du renflement cervical. Sur ce point précis, elle est un peu jaunâtre, et contient un peu de sang altéré et quelques corps granuleux en voie de formation; les veines des méninges contiennent un mélange d'air et de sang; il sort de l'air des vaisseaux de la moelle.

Sucre dans le foie, un peu dans l'urine, qui contient aussi un peu de sang.

E. — *Expériences faites sur des chiens.*

Expérience DXXVII. — 17 mai. Chien pesant 4 kilog.

Pression portée à 4 atmosphères.

Après 1/4 d'heure environ, ouvert brusquement le gros robinet; décompression en moins de 2^m. L'animal va bien.

Expérience DXXVIII. — 18 juin. Chien de petite taille. Poussé en 1^h à 10 atmosphères; y reste environ 1^h; décomprimé en 3^m.

L'animal ne peut sortir de l'appareil; il n'y a plus d'autres mouvements que des mouvements respiratoires; cris de douleur incessants.

Placé sur la table à autopsie, on voit du gaz dans la jugulaire mise à nu.

On y introduit une sonde qui va dans le cœur droit, et on en extrait $33^{cc},9$ de gaz contenant pour 100 20,8 de C^2 et 79,2 d'azote, avec quelques traces d'oxygène.

Le cœur droit et les veines sont pleins de gaz battu avec du sang;

il en est de même dans les veines de la pie-mère et des plexus choroïdes. Estomac très-distendu par les gaz.

Expérience DXXIX. — 9 juillet. Chien pesant 12 kilog.

1^h 45^m : porté à 5 atmosphères; laissé 30^m sous courant d'air.

Décomprimé en 2^m.

Aucun accident immédiat ni consécutif.

Expérience DXXX. — 13 juillet. Chien ayant perdu beaucoup de sang.

Poussé à 6 atmosphères et décomprimé en 2^m.

L'animal traîne les pattes postérieures et marche sur ses ongles; après une heure, marche mieux, mais se recouche aussitôt qu'on cesse de l'exciter.

Va bien le lendemain.

Expérience DXXXI. — 17 juillet. Chien de l'expérience DXXIX et de l'expérience DLXXI (décompression lente).

De 1^h 36^m à 2^h, porté à 6 atmosphères ; laissé 30^m.

Décomprimé en 2^m; sort bien portant, se secoue et marche très-bien. Accun accident.

Expérience DXXXII. — 22 juillet. Chien.

Poussé de 5^h 30^m à 6^h 10^m à 6 atmosphères 1/2. Je tire alors du sang duquel il ne se dégage pas de gaz libres dans la seringue. Ce sang contient cependant 7,7 pour 100 d'azote.

A 6^h 40^m, arrivé à 8 atmosphères 1/2 ; décomprimé en 3^m. A 6^h 50^m, je tire du sang à la carotide; ce sang contient 2 pour 100 d'azote.

L'animal est resté attaché sur la table à expériences; en recousant la plaie du cou, je vois des bulles d'air dans la jugulaire ; il commence alors à faire de grandes inspirations, qui se terminent par la mort à 7^h 15^m.

On ne trouve pas de gaz dans le sang du cœur droit ni du cœur gauche; mais il y a des bulles nombreuses dans toutes les petites veines du système général et du système porte.

L'estomac est énormément distendu ; on en tire 550^{cc} de gaz ; l'intestin contient beaucoup de mousse gazeuse et est gonflé.

Expérience DXXXIII. — 24 juillet. Chien de l'expérience DXXXI.

De 3^h 30^m à 3^h 55, porté à 6 atmosphères ; laissé 2^h sous courant d'air.

Décomprimé en 2^m, aucun accident.

Expérience DXXXIV. — 25 juillet. Chien de l'expérience précédente.

De 2^h à 2^h 45^m, poussé à 7 atmosphères.

Décomprimé aussitôt en 2^m : saute seul du haut de l'appareil.

5^m après, tombe sur le côté, le train postérieur paralysé ; sensibilité très-obtuse. Les pattes antérieures sont en extension forcée et tressautent à chaque respiration.

27 *juillet*. Paraplégie complète du mouvement ; muscles relâchés ; queue et pattes insensibles, mais avec mouvements réflexes de la queue. Le

sphincter anal est relâché, mais l'introduction d'un thermomètre y provoque de violents mouvements réflexes ; tempér. 39°,5. Vessie paralysée; en pressant sur le ventre, l'urine sort par jets saccadés ; régulièrement, elle sort par regorgement : pas de sucre.

1[er] *août*. L'animal est resté couché sur le côté droit; la paralysie a fait des progrès ascendants ; les côtes sont immobiles, et la respiration est purement diaphragmatique : on voit alors nettement l'élévation des côtes inférieures par le diaphragme.

En pinçant la patte postérieure droite, elle se retire, de même pour la queue : rien à la patte postérieure gauche. Le sciatique gauche, mis à découvert et pincé vigoureusement, donne quelques petits mouvements dans les muscles fléchisseurs de la jambe, mais l'animal ne sent rien. Le sciatique droit donne des mouvements marqués, et l'animal manifeste de la douleur quand on le pince. Les muscles interrogés par l'électricité exigent pour se contracter un courant un peu plus fort à gauche qu'à droite, ce qui est sans doute dû à l'action différente des nerfs.

Les orteils, pris dans les mains, sont plus chauds que les doigts des membres antérieurs ; ceux-ci sont sensibles et se retirent quand on les pince.

Le sphincter anal se contracte comme convulsivement quand on y touche; la température rectale est 38°.

L'urine sort quand on excite le nerf sciatique droit : pas de sucre.

Je tue l'animal, qui est fort malade, par ouverture du thorax.

Le nerf sciatique gauche est rougeâtre, ses vaisseaux sont injectés ; dans la plupart de ses tubes, la myéline est un peu louche et commence à se fragmenter. Le nerf sciatique droit est intact.

La moelle épinière est ramollie à la région du renflement lombaire. Des coupes transversales montrent les altérations suivantes. Au-dessous du renflement, piqueté rouge dans la substance grise ; à la partie supérieure du renflement, là où la coupe est possible, on trouve injection complète de la corne grise postérieure gauche et injection par places de celle du côté droit ; les cordons antéro-latéral et postérieur de gauche sont d'un gris jaunâtre très-marqué : tout cela est très-ramolli.

Au bas de la région dorsale, aspect uniformément rouge de toute la substance grise, qui est moins molle, avec coloration s'irradiant dans la substance blanche postérieure, surtout à gauche ; ramollissement gris jaunâtre du cordon antéro-latéral gauche et du cordon postérieur.

L'altération va en diminuant lorsqu'on remonte, et cesse à peu près audessus du renflement brachial; la moelle y est ferme, mais encore un peu injectée.

Expérience DXXXV. — 3 août. Chien.

A 8 atmosphères, le petit appareil, qui soutient la canule à tirer le sang (fig. 34, E), est projeté violemment : la pression tombe en 3 ou 4^{m}.

Le chien sort, court quelques pas, puis tombe et meurt rapidement. Gaz en abondance dans le cœur droit, mais non dans le cœur gauche.

Expérience DXXXVI. — 5 août. Chienne pleine poussée à 9 atmosphères un quart, saignée de 375cc de sang (voir expér. CLXXXIV, p. 658[1]; décomprimée rapidement : fait quelques inspirations et meurt.

Les deux cœurs sont pleins de gaz presque complétement libres : l'estomac contient peu de gaz.

Le cœur des fœtus, leurs veines contiennent à la fois du gaz et un sang très-noir. Dans le liquide allantoïdien surnagent d'abondantes bulles; le placenta est tout déchiré par les gaz; pas de gaz dans l'amnios.

Expérience DXXXVII. — 16 octobre. Chien qui a déjà servi aux expériences DLXXVII et DLXXVIII (10 atm., décompression lente. Voir p. 959).

De 1h 10m à 1h 45m, porté à 7 atmosphères, décomprimé à 1h 55m en 2m 1/2.

Sorti de l'appareil, est vif et ne paraît éprouver aucun symptôme fâcheux.

3m 1/2 après la décompression, soulève la patte antérieure droite, et paraît souffrir. Après 5m, est agité, titube du train postérieur, a une érection presque subite. Après 7m, raideur tétanique énorme du train postérieur, qu'on peut à grand'peine fléchir. La queue remue, et il n'y a rien aux membres antérieurs.

On recomprime l'animal à 7 atmosphères pour le décomprimer très-lentement. (Voir expér. DLXXXVIII, p. 976.) Meurt le lendemain.

Expérience DXXXVIII. — 18 octobre. Chien.

Comprimé à 7 atmosphères de 2h 25m à 3h 10m, et laissé 7m.

Décomprimé aussi rapidement que possible, en 2m, de 3h 17m à 3h 19m.

Retiré de l'appareil, va, vient, caresse; mais à 3h 21m est pris de paralysie du train postérieur; il reste bientôt couché, et ses souffrances se manifestent par des cris.

Poussé à une pression nouvelle de 7 atmosphères, et alors à une dépression extrêmement lente. (Voir expér. DLXXXVII.) Meurt le soir.

Expérience DXXXIX. — 20 octobre. Chien.

Soumis à 3 atmosphères et demie. On reçoit du sang artériel sous le mercure, dans une éprouvette. Il s'en dégage évidemment de très-fines bullettes de gaz, qui se réunissent à la partie supérieure du tube.

Décomprimé en 1m, ne présente aucun accident; les bruits du cœur sont normaux.

Expérience DXL. — 23 octobre. Même animal, poussé à 4 atmosphères 1/2, et laissé 10m. Décomprimé en 1m 1/4, n'éprouve aucun accident immédiat ni consécutif.

Expérience DXLI. — 25 octobre. Même animal, poussé à 5 atmosphères; laissé 10m et décomprimé en 1m 3/4. N'a encore aucun accident.

[1] A 3 atmosphères, le sang tiré dégageait du gaz dans la seringue.

Expérience DXLII. — 31 octobre. Chien.

Poussé à 7 atmosphères 1/4. Décomprimé en 1^m 1/4. Sorti à 2^h 7^m, sans accidents immédiats.

A 2^h 15^m, est trouvé faible, titubant, a vomi plusieurs fois. A 2^h 35^m, on entend au cœur d'énormes gargouillements, et l'animal meurt subitement.

Gaz dans le cœur droit et tout le système veineux, même la veine porte. Rien au cœur gauche.

Expérience DXLIII. — 31 octobre. Chien.

Placé à côté du précédent; n'a aucun accident immédiat. Mais à 2^h 15^m est trouvé couché sur le flanc, sans mouvements; la respiration est gênée, sifflante, comme si l'animal allait bientôt mourir. Il y a des gargouillements au cœur.

On lui fait respirer de l'oxygène (voir la suite, expér. DLXXXIX). Il meurt dans la nuit.

Expérience DXLIV. — 12 novembre. Chien.

Poussé à 7 atmosphères 1/4. Décomprimé en 2 minutes.

Meurt en 25^m environ. Gaz libre dans toutes les petites veines; cœur droit plein de mousse; bulles moins nombreuses dans le cœur gauche.

Expérience DXLV. — 12 novembre. Chien.

Placé à côté du précédent. Est pris d'accidents de paralysie et meurt au bout de 1^h 1/2 environ, après qu'on lui a fait respirer de l'oxygène. (Voir expér. DXC.)

Expérience DXLVI. — 15 novembre. Chien.

Poussé à 6 atmosphères 1/2; décomprimé en 4^m 1/2.

Aucun accident; pas de gaz dans le sang de la veine jugulaire, que j'examine au microscope pour plus de sûreté.

Expérience DXLVII. — 25 novembre. Chienne.

Poussée de 2^h 25^m à 3^h à 7 atmosphères 1/2.

Décomprimée en 2^m 1/2 à 3^h 14^m.

A 3^h 23^m, se paralyse du train postérieur, puis tombe; en quelques minutes, la respiration s'arrête, le cœur ne battant pas plus de 20 fois à la minute; on y entend de très-gros gargouillements; œil insensible, pupilles dilatées.

On fait respirer de l'oxygène, mais l'animal meurt à 3^h 35^m. (Voir expér. DXCI.)

Expérience DXLVIII. — 27 novembre. Chien caniche très-petit.

Monté à 7 atmosphères de 3^h à 3^h 53^m.

Décomprimé en 2^m 1/4.

Sorti de l'appareil, paraît gai pendant quelques minutes, puis, à 4^h 10^m,

commence à boiter, se paralyse du train postérieur, et soudain, tombe sur le flanc. Le cœur fait entendre de très-forts gargouillements.

On fait respirer de l'oxygène, mais l'animal meurt à $4^h 27^m$. (Voir expér. DXCII.)

Expérience DXLIX. — 6 décembre. Chien, poil ras, très-vif.

Mis sous pression de $2^h 30^m$ à $4^h 20^m$ et porté à 7 atmosphères 1/2.

A $3^h 20^m$, décompression en 2^m.

Sort de l'appareil. Au bout de 10 à 15^m, se paralyse du train postérieur, et paraît fort mal en point avec peut-être quelques gargouillements au cœur (?). Puis se remet un peu, sans pouvoir cependant se tenir sur ses pattes postérieures, où la sensibilité est conservée.

7 *décembre*. Est toujours paraplégique et se tient à peine sur ses pattes antérieures. Mouvements réflexes, sensibilité réflexe aux membres postérieurs, qui sont plus chauds que ceux de devant.

11 *décembre*. Eschare à l'épaule gauche, sur laquelle il est couché; odeur urineuse ; hyperesthésie des pattes antérieures ; mourant.

Expérience DL. — 6 décembre. Chien épagneul, placé à côté de l'animal précédent.

Est resté dans l'appareil d'où on le tire paraplégique, avec de très-forts gargouillements au cœur. On lui fait respirer de l'oxygène. (Voir la suite de son histoire, expér. DXCIII.)

Expérience DLI. — 22 décembre. Chien.

Porté à 8 atmosphères 1/2. Décomprimé en 2^m 1/2.

Retiré de l'appareil, est flasque déjà, et meurt en 5 ou 6^m.

Air en grande quantité dans le cœur droit et les veines. Quelques bulles dans le cœur gauche. On trouve du gaz en abondance dans tous les vaisseaux de la région inférieure de la moelle épinière.

Expérience DLII. — 16 janvier. Chienne pesant 6^k,5, en mauvais état général.

Portée à 7 atmosphères 1/2, puis décomprimée brusquement.

Aucun accident immédiat ni consécutif.

Expérience DLIII. — 23 janvier. Même animal.

Portée de même à 7 atmosphères 1/2 et décomprimée brusquement.

Environ 10^m après, se mord le train postérieur, comme si elle y éprouvait des douleurs vives; elle paraît ensuite avoir quelques troubles de la locomotion, qui disparaissent rapidement.

Expérience DLIV. — 25 janvier. Même animal.

Portée à 8 atmosphères, et décomprimée brusquement.

Aucun effet apparent.

Expérience DLV. — 29 janvier. Même animal.

Portée à 8 atmosphères 1/2, décomprimée brusquement.

Éprouve un peu d'irrégularité et de gêne du train postérieur, mais

paraît fort gaie, sans aucune anxiété ; pas de gargouillements au cœur ; on ne voit pas de gaz dans la jugulaire qui est mise à nu.

EXPÉRIENCE DLVI. — 11 février. Même animal.

Comprimée à 8 atmosphères et laissée 5^m sous pression, puis décomprimée en 3^m juste.

A la cinquième minute, après le commencement de la décompression, on prend du sang à la carotide, sans y trouver de gaz.

A la dixième minute, on tire du sang du cœur droit avec une sonde : il n'y a pas de gaz non plus.

Aucun accident.

EXPÉRIENCE DLVII. — 12 février. Chien maladif, très-maigre, pesant 8 kilogrammes.

De 4^h 30^m à 5^h 32^m, poussé à 8 atmosphères ; décomprimé en 3^m.

Mis à terre, ne paraît nullement anxieux, et marche.

A 5^h 42^m, le train postérieur devient raide et immobile.

A 5^h 55^m, le train antérieur se prend à son tour ; grande angoisse respiratoire.

Meurt à 6^h 5^m. Air dans les veines.

EXPÉRIENCE DLVIII. — 27 février. Chien caniche pesant 7 kilogrammes.

Mis à 8^h du matin dans l'appareil, à 9^h 1/2 est à 10 atmosphères; on arrête la pompe.

A 10^h, la pression n'est plus que de 9 3/4.

A 10^h 1/2, je regarde l'animal : il est bien portant, et vient placer son nez sur le hublot de verre : la pression est à 9 1/2.

Je rentre dans le laboratoire, et immédiatement une explosion violente se fait entendre. Le hublot a éclaté et ses fragments ont eu assez de force pour couper, à un mètre de distance, une conduite d'eau en plomb ; l'appareil a été soulevé, arraché de ses supports par le recul, et culbuté.

Je retire l'animal avec grand'peine, car il est devenu cylindrique, et passe difficilement par la porte. Emphysème général sous-cutané, intra et sous-musculaire. J'ouvre le ventre : le gaz qui le distend s'en échappe en sifflant.

Le cœur droit est plein de gaz, ainsi que toutes les veines, l'artère pulmonaire et les veines pulmonaires. Mais il n'y en a ni dans l'oreillette gauche ni dans l'aorte. On trouve du gaz dans la chambre antérieure de l'œil, dans le liquide céphalo-rachidien. Les fibres nerveuses de la moelle épinière sont dissociées par des bulles de gaz qui ne sont pas dans les vaisseaux.

Il n'y a pas d'hémorrhagie dans le cerveau ni la moelle ; les poumons sont peu congestionnés : pas de sang dans la trachée.

J'extrais 50^{cc} de gaz du cœur droit (où il y en a beaucoup plus) en prenant toutes les précautions pour empêcher l'accès de l'air. Ce gaz contient pour 100 parties : Ox 1,9 ; CO^2 15,1 ; Az 83,0.

Expérience DLIX. — 6 mai. Chien pesant 11 kilogrammes.

De 1^h à 1^h 58^m, comprimé à 7 atmosphères 1/2.

J'entretiens le courant d'air sous pression jusqu'à 7^h, où je fais la décompression en 3^m.

En sortant de l'appareil, l'animal titube, puis s'arrête, tombe et meurt.

Il y a des bulles d'air en abondance dans le cœur droit et les veines, des bullettes fines dans le cœur gauche.

Pas de gaz dans le tissu cellulaire sous-cutané, excepté dans les creux des aisselles; on en trouve aussi en bulles fines dans le tissu de l'épiploon.

Les intestins ne paraissent pas plus gonflés que dans les conditions ordinaires.

Expérience DLX. — 3 juin. Chienne des expériences DLII à DLVI. Bien nourrie, est devenue grasse et fort bien portante.

De 3^h 5^m à 4^h 5^m, est montée à 8 atmosphères, et décomprimée aussitôt en 1^m 45.

Sortie de l'appareil, court partout, gaie en apparence, et remuant la queue.

Mais après 3 ou 4^m, pousse de lamentables cris et essaye de se mordre le train postérieur, qui commence à se paralyser.

L'auscultation du cœur fait entendre de notables gargouillements à droite, mais non à gauche.

Deux ou trois minutes plus tard, les cris cessent, la paralysie est com plète, sensibilité et mouvement.

Elle va croissant, envahit le corps tout entier, avec des raideurs aux pattes, au cou. La respiration, depuis longtemps diaphragmatique seulement, devient très-difficile; le cœur se ralentit et l'animal meurt vers 4^h 1/2.

Je trouve du gaz dans le système veineux général et la veine porte, mais non dans les artères.

Il y a de l'emphysème dans le tissu sous-cutané des aisselles; on voit de petites bulles innombrables dans le tissu graisseux sous les muscles du thorax, et dans le pannicule sous-aponévrotique tout le long du dos, dans l'épiploon, le médiastin, le sillon du cœur, le tissu graisseux du canal médullaire.

Index d'air dans les vaisseaux de la pie-mère médullaire et cérébrale : rien dans la toile choroïdienne ni le liquide céphalo-rachidien.

Pas de sang épanché au cerveau; piqueté un peu gros à la moelle épinière. Poumons sains, sans congestion ni emphysème; congestion de la rate; petites apoplexies du grand épiploon.

Expérience DLXI. — 21 juillet. Chien pesant 6^k,5.

De 2^h 30^m à 4^h, porté à 8 atmosphères.

A 4^h 10^m, décomprimé en 1^m 1/4.

Meurt à 4^h 22^m, avec de l'air en quantité dans tout le système veineux; bulles fines au cœur gauche.

Poumons injectés, œdématiés.

Expérience DLXII. — 24 mai. Gros chien épagneul.

(Expérience faite devant la Commission de l'Académie des sciences.)

On pousse la compression à 8 atmosphères 1/2, pour décomprimer en 2^m.

Le chien paraît gai et court en remuant la queue. Après quelques minutes, il s'assied et devient triste. Quelques minutes ensuite, il fléchit sur le train antérieur et tombe à terre.

On entend des gargouillements au cœur droit.

L'animal paraît souffrir beaucoup et mord violemment tout ce qu'on lui présente. Il ne tarde pas à mourir.

Gaz en bulles fines dans tout le système veineux ; rien aux artères.

Expérience DLXIII. — 4 juin. Jeune chien bien portant, pesant 4500 grammes.

On met à nu la veine jugulaire, sans l'ouvrir ; l'animal, attaché sur la gouttière, est porté dans l'appareil à compression, où on l'amène rapidement à 6 atmosphères, pression qu'on entretient sous courant d'air pendant 3^h 1/2. Il crie beaucoup.

Décompression en 20^s. L'animal est retiré du cylindre et détaché. Paralysie complète du mouvement et de la sensibilité aux quatre membres ; pouls rapide, respiration accélérée ; pas de cris.

Remis aussitôt sur la table d'expériences, on recueille par le bout périphérique de la jugulaire 50^{cc} de sang, où l'on ne voit pas de gaz, et qu'on injecte lentement sous l'eau : aucune bulle de gaz. Une sonde est introduite dans l'oreillette droite ; on retire et traite de même 50^{cc} de sang ; pas de bulles.

Le chien est pris de diarrhées et de miction involontaire.

Il meurt dans la nuit.

L'autopsie démontre la présence de grosses bulles de gaz dans le système veineux (veine cave, veine azygos, veines mésentériques). On en trouve beaucoup dans certains lobes du foie et dans les reins, un peu dans la moelle, pas trace dans le cerveau, les méninges ni les muscles.

Expérience DLXIV. — 12 juin. Jeune chien blanc de petite taille, très-bien portant. — Placé dans le grand cylindre ; amené rapidement à 5 atmosphères et 1/2 de pression. Maintenu sous cette pression avec courant d'air pendant 4^h.

L'animal paraît fort tranquille pendant tout ce temps.

Décomprimé en 20^s.

Sorti de l'appareil, s'échappe en courant et l'on a la plus grande peine à le reprendre. La jugulaire et la veine fémorale droites étant mises à nu, on y voit défiler une longue série de bulles de gaz qui vont en grossissant.

Après quelques minutes, on tire à l'aide d'une seringue, du bout péri-

phérique de la jugulaire, une certaine quantité de sang que l'on injecte doucement sous de l'eau : on voit de suite de nombreuses bulles se dégager à la surface.

Le chien, gardé en observation pendant plusieurs jours, ne présente aucun accident consécutif.

Je résume, dans le tableau suivant, les résultats principaux fournis par les expériences qu'on vient de lire. Je les ai classées ici en suivant l'ordre croissant des pressions.

J'ai compris dans ce tableau les résultats des expériences où j'ai tenté de sauver les animaux, soit en les comprimant à nouveau, soit en leur faisant respirer de l'oxygène. (Voir sous-chapitre IV, p. 874 et suivantes.)

TABLEAU XVIII.

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	DURÉE DE LA COMPRESSION	PRESSION EN ATMOSPHÈRES	DURÉE DE LA DÉCOMPRESSION	ÉTAT DE L'ANIMAL
				MOINEAUX.
DXV	compr. lente	7	instantanée.	Morts en un quart d'heure. Deux animaux.
DV	5 min.	8	qq. secondes	Pas d'accidents.
DIX	2 min.	8	id.	Id.
DVI	2 heures	8	id.	Meurt en 10 min. Gaz dans le sang.
DVII	1 h. 35 m.	91/2	id.	Pas d'accidents.
DX	qq. minutes	10	id.	Id.
DXI	Id.	12	id.	Meurt presque instantanément. Gaz en abondance.
DXII	Id.	14	id.	Meurt en quelques minutes. Gaz en abondance.
DXIII	Id.	14	id.	Pas d'accid. immédiats. Trouvé mort le lendemain.
DXIV	Id.	15	id.	Meurt rapidement. Gaz en abondance.
DVIII	5 min.	16	id.	Meurt en quelques minutes. Gaz; avait eu un commencement de convulsions par l'oxygène.
				RATS.
DXVII	1 h. 1/4	51/2	qq. secondes	Pas d'accidents.
DXVIII	1 h. 3/4	61/2	—	Id.
DXVI	3/4 d'heure	61/2	qq. secondes	Pas d'accidents.
DXIX	—	81/2	2 min.	Deux animaux. Morts en qq. min. Gaz dans le sang.
				LAPINS.
DXXIII	1 h. 3/4	61/2	4 min. 1/2	Pas d'accidents.
DXXI	qq. minutes	7	2 à 3 min.	Deux animaux.
DXX	5 min.	8	id.	Id.
DXXII	—	81/8	id.	Deux animaux.
				CHATS.
DXXVI	5 min.	8	2 à 3 min.	Paraplégie, meurt en 4 jours; ramoll. médullaire. Exp. faite en même temps que l'exp. DXX.
DXXV	9 min.	10	id.	Meurt en 15 min. Gaz dans le sang.
DXXIV	—	10	id.	Tué le lendemain. Ramollissement médullaire.
				CHIENS.
DXXXIX	—	31/2	1 à 2 min.	Aucun accident, et cependant il se dégage du sang de fines bulles de gaz.
DXXVII	15 min.	4	2 à 3 min.	Pas d'accidents.
DXL	—	41/2	id.	Id. Même animal qu'à l'exp. DXXXIX.
DXXIX	30 min.	5	id.	Id.
DXLI	—	5	id.	Id. Même animal qu'à l'exp. DXL.
DLXIV	4 heures	51/2	20 sec.	Gaz dans les veines; pas d'accidents.
DXXXI	30 min.	6	id.	Id. Id. qu'à l'exp. DXXIX.
DXXXIII	2 heures	6	id.	Id. Id. qu'à l'exp. DXXXI.
DXXX	qq. minutes	6	id.	Traîne un peu le train postérieur; se remet très-bien.
DLXIII	5 h. 30 m.	6	20 sec.	Paralysie immédiate; pas de gaz. Meurt; gaz partout.
DXLVI	qq. minutes	61/2	4 min. 1/2	Pas d'accidents. Pas de gaz dans le sang de la jugulaire.
DXXXIV	Id.	7	2 min.	Paraplégie, ramollissement médull. Meurt en 7 jours. Même animal qu'à l'exp. DXXXIII.
DXXXVIII	7 min.	7	2 min.	Paraplégie; recomprimé et décomprimé lentement. Meurt le soir.

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	DURÉE DE LA COMPRESSION	PRESSION EN ATMOSPHÈRES	DURÉE DE LA DÉCOMPRESSION	ÉTAT DE L'ANIMAL
DXXXVII	10 min.	7	2 min. 1/2	Paraplégie; recompr. et décompr. lentement; meurt le lendemain. On ne trouve pas de gaz dans le sang. Petites taches hémorrhag. dans la moelle épinière.
DXLVII	15 min.	7 1/2	2 min.	Paralysé, énormément de gaz au cœur; va mourir. On fait respirer oxygène; la respiration revient; accident; mort.
DXLVIII	qq. minutes	7	2 1/4	Paralysé, respire oxygène; meurt.
DXLIV	Id.	7 1/4	1 1/4	Paralysé, meurt après 25 min. Gaz au cœur.
DXLIII	Id.	7 1/4	1 1/4	Paralysé, respire oxygène, respirations reviennent, gargouillements disparaissent. Reste paral., meurt; pas d'air dans les vaisseaux.
DXLIV	Id.	7 1/4	2	Meurt en 25 min. Gaz cœur droit et gauche.
DXLV	Id.	7 1/4	2	Paralysé, va mourir; respire oxyg.; va mieux, gargouillements disparus; remue, s'agite. Meurt après 1 heure 1/2; pas de gaz dans les vaisseaux.
DXLIX	Id.	7 1/2	2	Un peu malade, se remet, un peu paraplégique.
DL	Id.	2 1/2	2	Paralysé; gargouillements. Oxygène. Les gaz disparaissent, l'animal survit, paraplégique; mourant le troisième jour.
LII	Id.	7 1/2	2	Pas d'accidents.
	Id.	7 3/4	3	Resp. oxyg. La paralysie qui commençait rétrograde; mais retombe et reste paralysé plusieurs jours.
DXXXV	Id.	8	3 ou 4	Meurt rapidement. Gaz dans le cœur droit.
DLVII	Id.	8	3	Meurt en un quart d'heure. Gaz dans les veines.
	Id.	8 1/4	3	Resp. oxyg. Paraplégie, pas de gaz au cœur; va mieux; meurt dans la nuit.
DLI	Id.	8 1/2	2 1/2	Meurt rapidement. Air partout.
DLIII	Id.	7 1/2	2	Animal de l'expér. DLII. — Quelques légers troubles locomoteurs et sensitifs.
DLIV	Id.	8	2	Même animal. — Rien.
DLVI	Id.	8	2	Même animal. Rien. Pas de gaz dans le sang.
DLV	Id.	8 1/2	2	Même animal. — Quelques légers troubles locomoteurs. Pas de gaz dans le sang.
DXXXII	Id.	8 1/2	3	Mort rapide (25 min.). Pas de gaz au cœur; gaz dans toutes les petites veines, dans la veine porte, dans les vaisseaux du bulbe; 550cc de gaz dans l'estomac.
DXXXVI	Id.	9 1/4	3	Sang tiré à 3 atm. donnait déjà des gaz libres. Mort après quelques resp. Gaz partout. Elle est pleine; gaz dans le sang des fœtus, dans l'allantoïde; placenta déchiré.
DXXVIII	Id.	10	3	Extract. 34 cent. cub. de gaz dans cœur droit (CO^2 20,8; — Az 79,2; — O traces). — Gaz dans les vaisseaux de la pie-mère.
DLVIII	1 heure	9 1/2	Explosion.	Mort instantanée. Énorme emphysème sous-cutané, sous-musculaire. — Gaz dans le ventre, dans l'épiploon, dans la chambre antérieure de l'œil, dans le liquide céphalo-rachidien, dans la moelle. Pas d'hémorrhagie, moelle, cerveau, poumons. Pas de gaz dans cœur gauche. Cœur droit tout gazeux (CO^2 15,2; — Az 82,8; — O 2,0).
DLIX	5 heures	7 1/2	3 min.	Mort rapide; emphysème sous-cutané. Gaz dans tout le sang.
DLX	qq. minutes	8	1 m. 45 s.	Animal des expér. DLII à DLVI. Meurt. Gaz dans système veineux; emphysème sous-cutan.
DLXII	Id.	8 1/2	2 min.	Meurt. Gaz dans les veines.
DLXI	10 min.	8	1 min. 1/4	Meurt en 12 min. Gaz dans les veines et le cœur gauche.

§ 2. — **Décompression lente ou en plusieurs temps.**

Les faits qui précèdent suffiraient amplement pour me permettre de tracer une histoire assez complète des phénomènes curieux dus à la décompression brusque, et d'en fournir l'explication. Cependant, la variété dans les détails est telle qu'il me paraît avantageux de rapporter encore un certain nombre d'expériences du même ordre, mais où la décompression a été faite d'une manière plus ménagée, précisément en vue de rechercher les précautions qu'il faudrait prendre pour la rendre inoffensive.

Voici ces expériences :

Expérience DLXV. 20 juin. Cochon d'Inde. De 2^h 45^m à 3^h 50^m amené à 10 atmosphères; j'établis un courant d'air sous pression.

A 4^h 4^m, ouvert en grand le robinet; en 1^m, la pression tombe à 5 atmosphères ; je maintiens alors une ouverture légère du robinet ; la pression est équilibrée à 4^h 30^m.

Ouvert l'appareil : le cochon d'Inde paraît en bon état ; mais à 4^h 40^m, il s'agite, se roule, se paralyse d'une manière ascendante, la respiration se trouble et cesse à 4^h 45^m.

Gaz en abondance dans le cœur droit, dans les veines des membres et les artères. Pas de gaz dans le cœur gauche, les veines pulmonaires et coronaires, le système porte.

Pas de distension gazeuse de l'estomac et des intestins.

Expérience DLXVI. — 20 juin. Chat, placé à côté du cochon d'Inde de l'expérience précédente.

Poussé à 10 atmosphères. Amené en 1^m à 5 atmosphères, puis en 25^m à la pression normale.

Aucun accident immédiat ni consécutif.

Expérience DLXVII. — 29 juin. Chat et lapin amenés en 1^h 1/2 à 10 atmosphères. Pression maintenue sous courant d'air pendant 5^h.

Décompression en 2^h.

Sortent tout mouillés, tremblants (le chat tremblait dans l'appareil, dans l'air comprimé), ils n'ont pas crié ; aucune paralysie ; se remettent rapidement, et survivent.

La température du chat était tombée de 39°,5 à 34°,3 ; celle du lapin, de 39°,6 à 36°,7.

Expérience DLXVIII. — 2 juillet. Lapin de l'expér. DXX. De 2^h 50^m à 3^h 55^m, monté à 10 atmosphères ; courant d'air pendant 30^m.

On commence à décomprimer à 4^h 27^m ; la décompression est faite

avec une lenteur calculée, montre en main, à raison d'à peu près 2^m par atmosphère ; elle est terminée à 4^h 47^m.

Le lapin ne paraît rien avoir. Est pris cependant de paraplégie vers 6^h, avec conservation de la sensibilité ; vit encore à 7^h 30^m ; est trouvé mort le lendemain.

Expérience DLXIX. — 2 juillet. Chat blanc placé à côté du lapin de l'expérience précédente.

Poussé à 10 atmosphères, décomprimé régulièrement en 20^m.

Le chat blanc crie, respire difficilement ; au bout de quelques secondes, paraît entrer en fureur, se mord, mord le chat gris de l'expérience suivante étendu près de lui. A des tremblements convulsifs ; ses pupilles sont très-dilatées. Meurt en 5^m. Je tire avec de grandes précautions du gaz du cœur droit ; les 23^{cc},8 de gaz que j'obtiens ainsi contiennent 15,9 pour 100 de CO^2, le reste en azote, sans trace d'oxygène.

Gaz dans tout l'appareil circulatoire : veines, artères, système porte, vaisseaux intérieurs de la moelle. Celle-ci est très-dure et ne présente aucune trace de déchirure.

Expérience DLXX. — 2 juillet. Chat gris, placé à côté des animaux des deux expériences précédentes.

Est mourant au moment où on le retire, et meurt aussitôt après.

Je tire de son cœur droit 33^{cc}, 1 de gaz, qui contiennent 17 pour 100 de CO^2.

Mêmes résultats d'autopsie qu'à l'expérience précédente.

Expérience DLXXI. — 10 juillet. Chien de l'expérience DXXIX.

De 2^h 40^m à 3^h 40^m, porté à 10 atmosphères. Aux approches de 10 atmosphères, a des espèces de convulsions.

Sous pression, pendant 30^m.

Décomprimé de 10 à 6 atmosphères en 1^m ; puis de 6 à 1 en 1^h. Mêmes convulsions pendant la décompression.

A sa sortie de l'appareil, ne peut se soutenir sur le train postérieur ; hurle et gémit ; se couche sur le côté ; tremblement et forte extension des pattes de devant à chaque inspiration. Pattes de derrière fléchies, immobiles, mais sensibles.

Vers 5^h 30^m se relève, marche un peu, lentement, puis se recouche étant encore très-faible du train de derrière.

11 *juillet ;* va bien.

Expérience DLXXII. — 23 juillet. Chien de l'expérience CLXXXII (voir p. 658).

5^h 8^m, chien poussé à 10 atmosphères ; à 5^h 15^m, ramené en 2^m à 6 atmosphères ; à 5^h 45^m, ramené de même à 3 atmosphères ; à 6^h 33^m, décomprimé en moins de 30^m.

Aucun accident immédiat ni consécutif.

Expérience DLXXIII. — 27 juillet. Chien de l'expérience CLXXXIII.

Poussé à 10 atmosphères, saigné de 143^{cc}.

Décomprimé à raison de 5^m par atmosphère, très-régulièrement.

L'opération est finie à $5^h\ 45^m$.

Sorti à 6^h, est paraplégique : patte droite presque insensible, gauche un peu sensible, queue sensible.

A 7^h : respiration anxieuse. Paralysie ascendante qui a envahi tout le corps ; les côtes ne bougent plus : respiration purement diaphragmatique.

Trouvé mort le lendemain.

Expérience DLXXIV. — 7 août. Chienne poussée à 10 atmosphères, saignée de 128^{cc} de sang (voir p. 659, expérience CLXXXV).

Je décomprime au moyen du robinet gradué ; en 20^m, la pression baisse de 2 atmosphères 1/2 ; dans les 20^m suivantes, elle baisse de 1 atmosphère 1/4, et de 1 atmosphère 3/4 dans les 16^m qui suivent ; elle est alors de 4 atmosphères 1/2, et j'ouvre le gros robinet, qui l'équilibre en 3^m.

Le tout est fini à $7^h\ 31^m$.

Retiré à $7^h\ 40^m$, l'animal est complétement paralysé ; on entend au cœur un bruit de gargouillement : 80 pulsations extrêmement irrégulières ; 80 à 100 respirations, se faisant encore un peu par les côtes ; pas d'anxiété apparente ; mousse énorme à la gueule.

Meurt à 8^h.

Cœur gauche : sang noir avec un peu de gaz. Cœur droit : sang noir tout battu de fines bulles de gaz.

Gaz dans toutes les veines et les artères, excepté les veines du système porte, tandis que les artères mésentériques en sont pleines.

Mousse abondante dans l'estomac et l'intestin, mais non énorme et dangereuse par son volume. Écume dans les bronches : poumons sains, sans congestions ni apoplexies.

Expérience DLXXV. — 8 août. Chien poussé à 10 atmosphères, et saigné de 133^{cc}. (Voir p. 659, expérience CLXXXVI.)

Décomprimé en 50^m ; très-régulièrement, c'est-à-dire environ 5^m par atmosphère.

L'équilibre est rétabli à $7^h\ 30^m$.

A $7^h\ 35^m$, on entend au cœur un bruit de gargouillement très-fort. L'animal, mis à terre, est paralysé du train postérieur et des côtes. Température rectale 39°.

$8^h\ 30^m$, bruits de gargouillement très-fort à droite, beaucoup plus faible à gauche ; paralysie progressive ; l'animal est intelligent, et dresse la tête quand on l'appelle ; température rectale 36°.

$9^h\ 30^m$, état encore plus grave ; température 35° ; les yeux sont presque seuls mobiles. Toujours gargouillement fort à droite, faible à gauche.

Trouvé mort le lendemain.

Expérience DLXXVI. — 9 août. Chien.

Poussé de 8^h à $9^h\ 12^m$ à 10 atmosphères ; paraît avoir dans l'appareil une sorte d'agitation convulsive.

Décomprimé très-régulièrement en 1^{h} 30^{m}, soit 10^{m} par atmosphère.

Sort à 10^{h} 42^{m}, gai et bien portant.

A 10^{h} 47^{m}, la patte antérieure gauche s'étend, puis se paralyse du mouvement, mais reste sensible.

A 10^{h} 50^{m}, l'animal tombe, la patte postérieure droite s'étend paralysée du mouvement.

10^{h} 55^{m}, cette patte va mieux, mais la patte postérieure gauche se prend à son tour.

11^{h}, tout le côté gauche est paralysé, mais sensible.

Expérience DLXXVII. — 25 octobre. Chien vigoureux placé librement dans le grand appareil. De 2^{h} 30^{m} à 4^{h}, la pression est amenée à 10 atmosphères. Vers 3^{h} 50^{m}, le chien, qui depuis qu'il est dans l'appareil ne fait que crier, est pris d'une attaque de convulsions toniques et cloniques qui dure une vingtaine de secondes. Après quoi il reste faible et titubant pendant quelques minutes.

A 4^{h} 10^{m}, l'animal va bien; on décomprime en passant brusquement de 10 atmosphères à 8, de 8 à 6, de 6 à 4, de 4 à 2, de 2 à 1. A chaque stade, on s'arrête pendant 15^{m}. Le tout dure 1^{h} 10^{m}.

Il ne se produit rien pendant la décompression. On ouvre le cylindre, et l'animal en sort librement. Mais après 2 ou 3^{m}, il pousse des cris de douleur.

A 5^{h} 45^{m}, il se couche; le train postérieur est raide; quand on le force à se tenir debout, il soulève la patte antérieure gauche, dont il paraît souffrir.

A 6^{h} 15^{m}, il crie moins, mais est toujours dans le même état.

Va bien le lendemain.

Expérience DLXXVIII. — 28 octobre. Chien de l'expérience précédente, bien remis.

Porté à 10 atmosphères ; après 5^{m}, a une attaque convulsive.

Au bout de 15^{m}, on le décomprime, à raison de 8^{m} par atmosphère, très-régulièrement, soit 1^{h} 12^{m}.

Ne présente aucun trouble ni immédiat ni consécutif.

Expérience DLXXIX. — 14 novembre. Chien.

Poussé à 9 atmosphères. Décomprimé en 1^{h} environ.

En sortant de l'appareil, sa température rectale est de 20°. Il a de forts gargouillements au cœur et meurt rapidement.

Expérience DLXXX. — 27 juin. Chien pesant 19^{k},3.

De 1^{h} à 2^{h} est monté à 7 atmosphères 1/2, avec courant d'air. Une fuite se déclare; à 3^{h}, la pression est de 6 atmosphères; à 6^{h} 45^{m}, elle n'est plus que de 4 atm. 1/2, malgré le jeu continu de la pompe.

Décomprimé de 6^{h} 45^{m} à 7^{h} 45^{m}.

Retiré, le gros chien est très-mouillé, froid, mourant; il meurt après quelques respirations. On lui trouve des ecchymoses pulmonaires et du gaz partout dans le sang.

EXPÉRIENCE DLXXXI. — 27 juin. Deux petits chiens, tout jeunes, pesant environ $1^k,5$.

Placés à côté de l'animal de l'expérience précédente.

Les petits chiens sont très-mouillés aussi; mais ils ne présentent aucun accident immédiat ni consécutif.

Je résume, dans le tableau XIX, les faits relatifs à la décompression progressive et ménagée.

§ 3. — Résumé et conséquences des expériences précédentes.

Envisageons maintenant ces résultats expérimentaux dans leur ensemble.

Le premier fait qui frappe lorsqu'on examine le tableau XVIII, c'est que chez les oiseaux la décompression brusque est beaucoup moins à redouter que chez les mammifères. Un moineau, en effet (exp. DX), a survécu à la décompression à partir de 10 atmosphères, un autre (exp. DXIII) n'est mort qu'assez longtemps après une décompression de 14 atmosphères.

Au contraire, chez les mammifères, les accidents ont commencé à se manifester dès 6 atmosphères (exp. DXXX); la mort a frappé presque tous les animaux ramenés de 8 atmosphères, et tous ceux qui l'étaient de 9. Les chiens et les chats ont encore paru plus susceptibles que les lapins; les expériences DXX et DXXVI faites simultanément sur un chat qui a péri et un lapin qui a survécu, sont caractéristiques, réserve faite des différences individuelles.

Dans la même espèce, en effet, on remarque des différences qui sont fort importantes. Chez les chiens, par exemple, nous avons eu toujours des accidents graves, souvent la mort à 7 atmosphères, sauf les animaux des expériences DXLIX et DLII qui ont résisté à la décompression de 7 atmosphères 1/2, et celui de DLV qui a survécu même en sortant de 8 1/2.

Ce dernier animal est, à ce point de vue, tout particulièrement intéressant. Dans une série de décompressions brusques, partant de 7 1/2 atmosphères (exp. DLII et DLIII), puis

TABLEAU XIX.

NUMÉROS	ESPÈCE D'ANIMAL	PRESSION	DURÉE DE LA DÉCOMPRESSION	ÉTAT DE L'ANIMAL
		atm.		
DLXVII	Lapin. Chat.	10	5 heures de compress.; décompress. en 2 h.	Pas d'accidents.
DLXVIII	Lapin.			Paralysé après 1 h., vit plus de 3 heures.
DLXIX	Chat.	10	2 min. par atm. 20 min.	Meurt en 5 min. — Gaz du cœur, 23^{cc} (CO^2 15,9, Az 84,1).
DLXX	Chat.			Retiré mourant. — Gaz du cœur, 33^{cc} (CO^2 17, Az 83).
DLXV	Cochon d'Inde.	10	De 10 à 5 en 1 min.; de 5 à 1 en 30 min.	Meurt en 15 min.; gaz dans le système veineux seulement.
DLXVI	Chat.			Aucun accident.
DLXXXI	Fort jeunes chiens.	7 1/2	1 heure de 7 1/2 à 6; 3 h. 45 m. de 6 à 4 1/2; 1 h. de 4 1/2 à 1.	Aucun accident.
DLXXX	Chien adulte.			Retiré mourant. Gaz partout.
DLXXIX	Chien.	9	En 1 heure environ.	Meurt rapidement.
DLXXIII	Id.	10	3 min. par atm. 27 min.	Paraplégie; mort dans la nuit.
DLXXV	Id.	10	5 — 50 min.	Gargouillement; paralysie progressive. Meurt dans la nuit.
DLXXVIII	Id.	10	8 — 1 h. 12 m.	Aucun accident.
DLXXVI	Id.	10	10 — 1 h. 30 m.	Légers accidents; survit.
DLXX	Id.	10	De 10 à 6 en 1 min.; de 6 à 1 en 1 heure.	Légers troubles locomot.; guérit. Animal de l'expérience DXXIX.
DLXXIV	Id.	10	De 10 à 7 1/2, 8 m. par atm.; de 7 1/2 à 6 1/4, 15 min. par atm.; de 6 1/4 à 4 1/2, 9 min. par atm.; de 4 1/2 à 1, 3 m. par atm. En tout 1 heure.	Complétem. paralysé; gargouillement; meurt en 20 min. Gaz dans tout le sang.
DLXXVII	Id.	10	Brusquement de 10 à 8; de 8 à 6; de 6 à 4; de 4 à 2; de 2 à 1. A chaque stade, 15 m. d'arrêt. En tout 1 h. 10 min.	Sort librement de l'appareil; bientôt crie, troubles locomot. Guérit et survit.
DLXXII	Id.	10	De 10 à 6 en 2 minutes; laissé 30 min. à 6. De 6 à 3 en 2 minutes; laissé 45 min. à 3. De 3 à 1 environ 15 m. En tout env. 1 h. 30.	Aucun accident.

de 8 atmosphères (exp. DLIV et DLVI) et même de 8 atmosphères 1/2 (exp. DLV), il n'a présenté aucun phénomène malade. Puis, quatre mois plus tard, décomprimé de 8 atmo-

sphères, il est mort en (exp. DLX) moins d'une demi-heure. Pendant la première série d'expériences, il était maigre, fort mal portant ; lors de la dernière, au contraire, les bons soins lui avaient rendu l'embonpoint et la santé.

Est-ce à cette différence qu'il faut rapporter la différence des résultats ? La cause, purement physico-chimique, que nous serons forcé d'attribuer aux accidents de la décompression, ne se prête guère à cette interprétation. De plus, l'expérience DLVII nous montre un chien en tout aussi mauvais état, pour le moins, qui, du premier coup, a péri pour une décompression à partir de 8 atmosphères.

Non moins inexplicable est la résistance des tout jeunes chiens de l'expérience DLXXXI, alors que le chien adulte placé à côté d'eux pendant plus de cinq heures (exp. DLXXX), a péri immédiatement après une décompression assez ménagée, et partant de 7 atmosphères 1/2.

Mais, en laissant de côté ces inégalités qui peuvent suggérer des réflexions importantes en pratique, examinons maintenant les accidents en eux-mêmes.

Dans la décompression brusque à partir de 8 atmosphères et au-dessus, nous avons vu survenir presque toujours une mort à peu près instantanée. Elle s'est présentée aussi, mais plus rarement, pour les dépressions partant de 7 à 8 atmosphères. Le plus souvent, alors, les accidents ont consisté dans une paralysie des membres postérieurs, paralysie tantôt légère et transitoire, tantôt durable et persistante pendant plusieurs jours, tantôt, enfin, devenant rapidement ascendante et entraînant la mort par asphyxie dans le laps de quelques heures.

Les cas où la paralysie a rétrogradé ont été, comme on pouvait le penser, les cas limites (exp. DXXX, DLXXI, DLXXVI); les membres seuls avaient été affectés ; encore la motricité volontaire avait été seulement diminuée. Ces troubles ont disparu d'eux-mêmes en moins d'une heure ; tous ceux que j'ai vus durer davantage ont persisté jusqu'à la mort.

Celle-ci survenue, on trouvait d'ordinaire pour l'expliquer et expliquer les phénomènes plus ou moins complexes qui

l'avaient précédée, un ramollissement plus ou moins étendu de la moelle épinière, ramollissement fort avancé dans la région lombaire, et en voie de progression dans le reste de l'organe, où le précédaient des lésions inflammatoires comme celles qui sont décrites dans les expériences DXXVI et DXXXIV.

Restent maintenant à expliquer tout à la fois la cause initiale de ces paralysies à plus ou moins longue portée, et la raison de la mort à peu près immédiate qui est si souvent arrivée.

Disons, de suite, que l'hypothèse de M. Bouchard (p. 504) ne s'est nullement vérifiée. Nous avons bien trouvé quelquefois, il est vrai, l'estomac et les intestins un peu distendus par des gaz ; mais, outre que cette distension n'a jamais été bien énorme, nous n'avons jamais vu dans les poumons, ni dans les centres nerveux les congestions ni les hémorrhagies qu'il faudrait, selon cet auteur, invoquer pour expliquer la mort subite. De plus, dans tous les cas, nous avons constaté la persistance des battements du cœur, et il faut ainsi écarter encore la syncope.

Nous pouvons aller plus loin encore. La preuve évidente que les accidents qui frappent les animaux décomprimés ne sont pas dus aux brusques oscillations du sang refoulé par la soudaine dilatation des gaz intestinaux, cette preuve se tire aisément des expériences relatées au chapitre IV. Nous voyons, en effet, que des chiens ont pu être ramenés en quelques minutes de 7 ou 8 atmosphères à la pression normale, sans qu'il en résultât pour eux d'accidents analogues à ceux qui viennent d'être décrits, accidents avec lesquels il est impossible de confondre le phénomène de l'empoisonnement par l'oxygène, dont ils donnaient l'étrange et terrible spectacle.

Mais la vraie cause de tous ces phénomènes s'est révélée à nous avec la dernière évidence, et l'hypothèse de MM. Rameau et Bucquoy (voy. p. 478) a reçu de nos expériences la plus éclatante confirmation. Ce sont bien les gaz du sang qui, comme l'avait prévu la sagacité du professeur de Strasbourg, repassent à l'état libre sous l'influence de la décompression

brusque, et occasionnent alors des accidents comparables à ceux d'une injection d'air dans les veines. Seulement le phénomène est plus multiple et plus complexe que ne pouvait le supposer le savant physicien.

D'abord ce ne sont pas, comme il le pensait, les trois gaz du sang qui redeviennent ainsi aériformes. Et nous pouvions déjà prévoir ce résultat, puisque nos recherches précédentes (chapitre II, sous-chapitre III) nous avaient montré que la proportion de l'oxygène augmente à peine par la pression, et que celle de l'acide carbonique n'augmente pas du tout. Nous étions donc en état, et nous aurions pu nous croire en droit d'affirmer que le gaz qui menacerait la vie en repassant à l'état libre serait exclusivement celui dont la proportion était notablement augmentée dans le sang, c'est à savoir l'azote.

Cette conclusion se tirerait encore des expériences du chapitre IV auxquelles je faisais allusion il n'y a qu'un instant; ici aucun accident n'est survenu, aucune bulle de gaz n'a paru à l'état libre dans les vaisseaux, parce que l'air que respiraient les animaux était très-pauvre en azote.

Mais il y a mieux; j'ai pu, comme le montrent les expériences DXXVIII, DLVIII, DLXIX et DLXX, extraire les gaz rassemblés dans le cœur en collections volumineuses, et en faire l'analyse. Je les ai trouvés, en effet, composés pour la plus grande partie d'azote; mais je dois avouer que mon étonnement fut grand de trouver, en outre de l'azote, une quantité d'acide carbonique qui a varié de 15 à 20 pour 100 et même, dans un cas (exp. DLVIII), un peu d'oxygène.

L'explication de ces faits doit probablement être tirée de cette circonstance que le retour à l'état libre de l'azote se fait par petites bulles, que brassent les mouvements circulatoires, avant qu'elles puissent se réunir dans le cœur en vastes collections gazeuses, en telle sorte que le sang est comme traversé par un courant d'azote. Or, on sait depuis longtemps qu'un pareil courant entraîne avec lui beaucoup d'acide carbonique.

Quant à l'expérience DLVIII où j'ai trouvé 2 pour 100 d'oxygène, c'est celle où l'appareil a fait explosion, et où l'animal,

instantanément tué, n'a pu consommer le léger excès d'oxygène redevenu libre dans son sang.

Quoi qu'il en soit, la plus grande partie du gaz libre est constituée par de l'azote, et il en résulte un danger fort grand ; car de l'acide carbonique, de l'oxygène même pourraient se redissoudre rapidement, et Nysten[1] a depuis longtemps démontré que leur présence dans le système veineux est sans danger, à moins qu'on n'en introduise des quantités énormes, surtout pour l'acide carbonique. Il est vrai que dans nos expériences, il y a du gaz dans le système artériel lui-même.

Il est probable que toute la partie en excès de l'azote repasse ainsi à l'état gazeux. Or, nous avons vu (p. 600) qu'à 10 atmosphères il y a environ 8 centimètres cubes d'azote en trop dans 100 centimètres cubes de sang. En supposant qu'un chien de 14 kilogrammes contienne 1 kilogramme de sang, on trouve qu'il peut se dégager dans les vaisseaux artériels et veineux 80 centimètres cubes d'azote, entraînant avec eux environ 20 centimètres cubes d'acide carbonique; cela est bien suffisant pour amener des accidents immédiatement mortels.

Nous pouvons donc maintenant nous représenter les effets de la décompression brusque. Mettons d'abord les choses au pire; supposons un animal ramené en 2 ou 3 minutes de 10 atmosphères à la pression normale. Immédiatement, dans tout l'appareil vasculaire, les gaz se dégagent en abondance; on trouve du sang mousseux dans les veines, dans les artères, dans le système porte, jusque dans les vaisseaux du placenta et des fœtus, lorsque l'animal était en gestation (exp. DXXXVI). Le cœur, qui continue à battre encore quelques minutes, pousse dans l'extrémité des artères les gaz que contenaient ses cavités gauches, où l'on n'en trouve que rarement; le cours du sang veineux qui persiste un peu, amène aux cavités droites des bulles fines de gaz qui s'y collectent en quantité assez considérable pour qu'un chat (exp. DLXX) ait

[1] *Recherches de physiologie et de chimie physiologique*. Paris, 1811, p. 53 et 81.

pu m'en fournir 33 centimètres cubes, et un peu de sang dépouillé de bulles gazeuses va se rendre au cœur gauche par quelques-unes des artères pulmonaires. Les autres sont obstruées par la mousse que lance le cœur droit. On retrouve ici des effets de cette difficulté qu'ont les gaz à traverser les capillaires, difficultés qui font si souvent échouer les injections des anatomistes : nous voyons les bulles de gaz refuser de traverser les poumons, et dans certaines expériences nous avons vu les artères mésentériques pleines de bulles de gaz, sans que le sang de la veine porte en contînt.

Supposons maintenant le cas le plus léger, soit qu'il s'agisse d'un animal décomprimé seulement de 6 atmosphères (exp. DXXX), soit que, venant de 10 atmosphères, il ait été décomprimé avec une grande lenteur (exp. DLXXI, DLXXVI et DLXXVII). Dans ces cas, les bulles de gaz repasseront bien que plus petites et bien moins nombreuses à l'état libre ; celles du système veineux s'arrêteront aux poumons, et donneront quelques gênes respiratoires ; puis battues et devenues extrêmement fines (il faut parfois le microscope pour les voir), elles arriveront au cœur gauche pour être de là lancées dans les artères, où elles rejoindront celles qui s'y sont spontanément développées et que la circulation n'a pas encore poussées dans les veines. Il pourra ainsi arriver qu'elles finissent par se redissoudre sans occasionner d'accidents bien nets ; mais si, par malheur, quelques-unes d'entre elles, entraînées par la circulation dans les capillaires des centres nerveux, viennent à y arrêter localement le cours du sang, aussitôt, instantanément, comme dans l'expérience de Sténon, une paralysie ou une excitation locale en est la conséquence ; seulement, dans l'espèce, si faible est la bulle, qu'elle disparaît bientôt, et tout revient à l'état normal.

On comprend qu'entre ces deux extrêmes doivent se placer bien des cas intermédiaires, et les expériences ci-dessus rapportées en présentent suffisamment d'exemples. Rien de plus saisissant que de voir des animaux décomprimés de 6 à 8 atmosphères bondissant hors de l'appareil, comme joyeux de leur liberté, puis frappés au bout de quelques minutes d'une

paralysie qui débute toujours par les membres inférieurs, mais qui souvent envahit ensuite tout le reste du corps.

C'est d'abord une chose assez étonnante que l'intervalle de 5 à 10 et même 15 minutes qui s'écoule presque toujours entre le moment de la décompression, et celui de la paralysie, soit que le gaz ne se dégage pas aussitôt, dans le corps tout entier, soit qu'il faille un certain temps pour que les bulles d'air aillent intercepter la circulation médullaire.

Il n'est pas moins curieux de voir, dans certaines expériences, comme celle DLXXV, la vie persister pendant des heures alors que la paralysie presque générale de l'animal ne lui laissait de libre que les mouvements du diaphragme, et qu'on entendait au cœur un bruit de gargouillement annonçant, dès le début, la présence d'une grande quantité de gaz dans le cœur droit et dans les poumons.

Dans ce cas, l'animal asphyxie lentement, comme le prouve le sang de plus en plus noir qui coule dans ses artères. Il est évident que le débit pulmonaire est insuffisant pour amener dans les artères une quantité suffisante de sang oxygéné.

Si maintenant l'on se demande pourquoi l'azote ainsi repassé à l'état libre ne se redissout pas à la longue dans le sang, ou pourquoi il ne sort pas par les poumons, la réponse est facile.

En effet, le sang qui circule dans les vaisseaux est, dans les conditions normales, à peu près saturé d'azote par la respiration de l'air ; en agitant du sang artériel avec de l'air on ne peut lui faire dissoudre que quelques dixièmes de centimètre cube d'azote en plus de celui qu'il contenait déjà. Il n'y a donc pas de raison pour que l'excès passé à l'état libre se redissolve à nouveau. Maintenant, l'azote libre ne sort pas par les poumons, parce qu'il se trouve en présence d'une atmosphère composée pour les quatre cinquièmes d'azote même, et que rien ne le sollicite à sortir.

En poursuivant ce raisonnement, on arrive à penser qu'il pourrait y avoir avantage à faire respirer à l'animal de l'oxygène pur, ou un mélange d'oxygène et d'hydrogène, afin de favoriser à la fois la dissolution de l'azote dans le sang, et sa

diffusion à travers les membranes pulmonaires. C'est ce que j'ai fait, non sans succès, dans des expériences dont je rendrai compte plus loin.

Enfin, troisième point curieux, c'est constamment (sauf dans l'expérience DLXII) par le train postérieur que nous avons vu commencer la paralysie. Pourquoi ce lieu d'élection ? Est-ce une explication suffisante que de dire : la région lombaire de la moelle est celle qui travaille le plus pendant que l'animal saute et court ? Je me contente de rappeler que la paraplégie est aussi l'accident le plus fréquent chez les plongeurs et les ouvriers des tubes.

Lorsque la mort survient peu après le début de la paralysie, elle est évidemment sous l'influence de la même cause que celle-ci ; les bulles de gaz, après avoir intercepté la circulation dans le renflement lombaire, vont l'arrêter en d'autres points plus élevés, où l'autopsie les retrouve, jusqu'à ce qu'enfin la respiration cesse ; pendant ce temps, du reste, les artères pulmonaires se chargent de gaz libres : l'asphyxie vient de partout à la fois.

Mais il est arrivé quelquefois que la paralysie s'est localisée dans les membres inférieurs, ou du moins n'a fait que des progrès ascendants assez lents ; aussi la mort n'est-elle survenue qu'après plusieurs jours (exp. DXXIV, DXXVI, DXXXIV). Si l'on considère l'absence de soins donnés aux animaux, on est en droit de penser que quelques-uns pourraient survivre, tout en restant paralysés, comme cela arrive à nombre de plongeurs.

A la mort, on trouvait, comme nous l'avons déjà rappelé, un ramollissement plus ou moins étendu, au milieu duquel se voyaient quelquefois, encore après 4 jours, des bulles de gaz (exp. DXXVI), et qu'entouraient des processus inflammatoires qui avaient causé la mort. J'appelle l'attention sur la rapidité avec laquelle est survenu, notamment dans l'expér. DXXIV, c'est-à-dire en moins de vingt-quatre heures, un ramollissement tel que la moelle était fluide comme de la crème.

Je ne veux que signaler au lecteur les troubles physiologiques remarquables qui accompagnent ces arrêts de la cir-

culation médullaire et les altérations consécutives de la nutrition. Ceux qui ont eu la patience de lire les expériences qui précèdent auront remarqué ces faits curieux de rejet d'urine sanglante et de sperme, de contracture des membres, de constriction avec mouvements réflexes exagérés des sphincters anal et vésical, de sensibilité conservée après la perte de la motricité, etc.... Je rappellerai seulement ici le fait curieux de la transmissibilité centripète et de la motricité du sciatique, si fortement compromises par l'altération de la région correspondante de la moelle épinière (exp. DXXXIV). Je considère que ces ramollissements provoqués à volonté pourraient contribuer puissamment aux progrès de la physiologie de la moelle épinière, et rendre au diagnostic médical d'utiles services : c'est une mine aussi féconde à exploiter que celle qui a donné tant d'utiles résultats entre les mains habiles de M. le professeur Charcot.

Quelques-unes des expériences ci-dessus rapportées montrent que la présence de bulles de gaz dans le sang n'est pas une cause nécessaire de mort ou même d'accidents se manifestant aux yeux de l'observateur. Ainsi dans l'expérience DXXXIX, où la pression était de 3 1/2 atmosphères, le sang reçu sous le mercure, dans une éprouvette, laissait échapper de très-fines bullettes de gaz, et cependant l'animal, décomprimé en une minute, n'a paru nullement affecté. En y regardant de très-près, en employant la loupe, j'ai même vu, dans un cas (exp. CLXXXIV), les bulles de gaz libres se dégager sous le mercure du sang d'un chien placé à 3 atmosphères.

Il est évident que chez le chien de l'expérience DXXXIX, lequel a été quelques jours après décomprimé de 5 atmosphères sans accidents, le sang en circulation contenait de fines bullettes. Mais celles-ci ont pu traverser les capillaires sans obstruer la circulation, et elles se seront dissoutes plus ou moins rapidement.

La présence de semblables bullettes suffirait, je crois, alors même qu'il n'y aurait aucun arrêt circulatoire, pour expliquer, par voie d'irritation des tissus, les accidents légers des ouvriers des tubes, les *puces*, les *moutons*, dont il a été ques-

tion dans l'historique. On comprend ainsi quels dangers courent ces ouvriers, dont la paralysie ou la mort dépend, à ces limites, de la grosseur d'une bulle de gaz. Il n'est donc pas étonnant que des accidents légers chez les uns, mortels chez d'autres, aient apparu dans la décompression trop brusque aux environs de 4 atmosphères.

Mais la présence de bulles d'azote dans le sang, irritant les tissus par leur contact, lorsqu'elles sont assez fines pour traverser les capillaires, ou entraînant des accidents plus graves et plus durables lorsqu'elles interrompent la circulation, ne constitue pas le seul danger auquel soient exposés les animaux rapidement décomprimés, ni peut-être le plus redoutable.

En effet, les tissus mêmes de l'organisme, qui sont imprégnés de liquide, les collections liquides autres que le sang, se chargent, au contact du sang sursaturé d'azote, d'une proportion croissante de ce gaz. Et lorsque survient la décompression, ces gaz doivent nécessairement revenir à l'état libre, distendant et même dilacérant les tissus au sein desquels ils se dégagent. C'est ainsi que les expériences DXXXVI, DLVIII, DLIX, DLX et DLXIII nous ont montré des gaz dans le tissu cellulaire sous-cutané ou intermusculaire, dans les liquides de l'œil, dans le liquide cérébro-rachidien, dans la moelle épinière, etc. L'expérience DLVIII, où a eu lieu l'explosion, est tout à fait remarquable sous ce rapport; l'emphysème sous-cutané était tel que le chien était devenu absolument cylindrique. Signalons encore spécialement l'expérience DXXXVI où, chez une chienne pleine, nous avons trouvé du gaz non-seulement dans les vaisseaux sanguins et les tissus de l'animal, mais dans ceux des fœtus eux-mêmes, et jusque dans le liquide allantoïdien; l'amnios, dont les communications vasculaires sont beaucoup plus rares, n'en contenait pas.

Ces gaz emprisonnés dans les mailles des tissus doivent, lorsqu'ils n'occasionnent pas la mort, être la cause de douleurs, de gonflements locaux, et c'est évidemment à eux qu'il faut attribuer les tumeurs musculaires, les gonflements des mamelles, etc., dont nous avons cité plusieurs exemples dans le chapitre consacré à l'historique.

En résumé, la décompression brusque occasionne des accidents multiples plus ou moins graves, qui s'expliquent tous aisément par le dégagement, tant dans le liquide sanguin qu'au sein des tissus, de l'azote qui s'y était dissous en excès, à la faveur de la pression.

J'avoue que, dans cet ensemble de faits dont l'infinie variété trouve cependant une cause unique si simple, un seul point m'étonne encore. Je ne puis comprendre comment, chez certains chiens soumis à une haute pression, le sang extrait des vaisseaux ne contenait pas de gaz libres : telles, par exemple, les expériences DXLVI et DLVI, où la pression était de 6 1/2 et 8 atmosphères. L'expérience DLXIII est particulièrement intéressante sous ce rapport : le chien décomprimé après un long séjour à 6 atmosphères était paralysé, et cependant on ne voyait pas de gaz libre dans son sang; mais les accidents s'étant aggravés, on en trouva après la mort non-seulement dans le sang, mais dans divers organes et notamment dans la moelle épinière : c'était probablement là la cause de la paralysie immédiate.

Je me suis trouvé également un peu embarrassé d'abord pour comprendre comment des chiens décomprimés brusquement de 5 ou 6 atmosphères, des lapins de 6, 7, 8, des moineaux de 8, 9, 10, ne périssaient pas, et même ne présentaient pas d'accidents, alors que certainement ils avaient des gaz libres dans le sang, gaz dont j'ai parfois constaté l'existence chez l'animal en expérience lui-même, comme dans les expériences DXXXIX et DLXIV. Je pense que cette apparente anomalie doit s'expliquer par ceci, que le dégagement des bulles alors très-fines leur a permis de traverser sans encombre le système des capillaires et de se réunir dans le système veineux. Or, si tout le gaz ainsi dégagé se rassemble dans les veines, il ne peut guère constituer un danger sérieux pour l'animal.

Reprenons en effet un calcul que nous avons déjà fait. A 5 atmosphères, par exemple, le tableau de la page 661 montre qu'un chien a en moyenne 6 volumes d'azote par 100 volumes de sang, c'est-à-dire environ 4 volumes de plus que ce liquide

n'en peut dissoudre à la pression normale. Prenons un chien de 10 kil., et supposons qu'il ait dans ses vaisseaux sanguins et lymphatiques 1^l de liquide; ce seront 40^{cc} d'azote, avec environ 10^{cc} de CO^2 qui, au maximum, viendront se réunir dans les cavités du cœur droit. Cette collection ne se fera que progressivement, car on sait que dans un liquide sursaturé de gaz par la pression, ceux-ci ne se dégagent rien moins qu'instantanément lors de la décompression.

Or, les 10^{cc} d'acide carbonique se redissoudront ou s'exhaleront aussitôt par le poumon; quant aux 40^{cc} d'azote, qui correspondent à ce qui existerait dans 50^{cc} d'air, on sait que si un pareil volume d'air, injecté d'un coup dans une veine du cœur, peut arrêter les contractions de cet organe, surtout lorsque cet air est froid, on peut au contraire introduire impunément, dans les voies circulatoires, des quantités bien autrement grandes d'air, en faisant des injections modérées et successives.

Nysten[1] avait, il y a longtemps, démontré ce fait; mais comme il règne encore sur ce point grand nombre d'erreurs courantes, je crois devoir rapporter quelques expériences fort concluantes sous ce rapport :

Expérience DLXXXII. — 24 février. Petit chien 4^k, malade. Injecté dans la veine jugulaire en 4^m, 14^{cc} d'air. L'animal meurt en 10^m.

Mousse sanguine dans le cœur droit et l'artère pulmonaire; pas de gaz au cœur gauche.

Expérience DLXXXIII. — 25 juillet. Chien pesant 5^k. Temp. ext. 21°.

A 3^h, injection unique, dans la veine fémorale gauche, de 20^{cc} d'air.

Aussitôt on entend le cœur battre avec le bruit d'une éponge sèche qu'on presse sous l'eau. L'animal cesse de respirer; le cœur semble s'arrêter; la conjonctive devient insensible, mais non la cornée.

Puis les respirations reviennent, d'abord très-rares et très-profondes, puis précipitées. Les bruits du cœur reparaissent, normaux.

3^h 15^m; nouvelle injection de 20^{cc}. Mêmes phénomènes, bien que moins prononcés : la sensibilité, la respiration, les battements du cœur ne disparaissent pas complétement; raideurs dans les membres antérieurs; petits cris.

3^h 25^m; l'animal paraît bien revenu. Injection d'un coup, de 40^{cc} d'air.

[1] *Loc. cit.*, p. 15 et suiv.

Aussitôt raideurs des pattes, bruits du cœur, troubles respiratoires ; le tout s'aggrave, et à 3h 35m on n'entend plus le cœur.

Autopsie à 3h 50m. Oreillette et ventricule droits remplis de sang battu d'air, avec caillots pleins d'air; un peu de gaz dans la veine cave. Pas d'air dans les artères pulmonaires ni dans le cœur gauche.

Expérience DLXXXIV. — 14 février. Chien bull-dog pesant 12k.

Injection progressive, en 9m, de 130cc d'air, dans la veine jugulaire guche.

Paraît assez anxieux pendant l'injection, mais détaché aussitôt après, va bien.

Expérience DLXXXV. — 24 février. Chien de chasse vigoureux, pesant 15k,5. Température extérieure 14°.

3h 15m. Toutes les deux minutes, on injecte en 30s, dans la veine jugulaire droite, avec une seringue en verre excellente, 65cc d'air.

A chaque injection, l'animal se plaint, et l'on entend aussitôt, même à distance, les bruits de gargouillements au cœur.

Après la 10e injection (650cc), l'animal ne paraît pas en danger. A la 24e minute, on recommence à injecter, mais cette fois toutes les minutes.

Après la 17e injection (1100cc), l'animal gémit, urine, étend fortement les pattes. Les battements du cœur se ralentissent, les respirations sont très-rares, et l'animal meurt à 3h 55m. Sa température a baissé de 1°.

Je trouve le cœur droit rempli de mousse, de sang battu d'air, avec une assez grande quantité d'air libre ; il y en a également dans les veines caves et les artères pulmonaires.

Bulles d'air assez nombreuses dans le cœur gauche, les *artères* et les veines cardiaques; on n'en trouve pas dans les artères des membres ni dans la veine porte.

Ainsi, dans l'expérience DLXXXII, un chien de petite taille, il est vrai, et malade, a été tué par l'injection de 14cc d'air, tandis que dans l'expérience DLXXXV, il a fallu aller jusqu'à 1100cc pour tuer un grand chien. Ces expériences, en un mot, nous montrent tout autant de différences pour les injections artificielles d'air dans les veines que pour cette sorte d'injection physiologique qui a lieu pendant la décompression brusque.

Un des éléments les plus importants à considérer, relativement à l'apparition des phénomènes morbides consécutifs à la décompression, est la durée du séjour dans l'air comprimé. Après le degré de la compression, après la rapidité de la décompression, c'est lui qui joue le rôle principal. Ainsi, tandis que pour les chiens décomprimés immédiatement

après que le degré voulu avait été atteint, on n'a pas d'accidents graves, comme le montre le tableau XVIII, avant d'avoir atteint 7 atmosphères, nous voyons, dans l'expérience DLXIII, un chien périr assez rapidement en sortant de l'appareil où la pression de 6 atmosphères avait été entretenue pendant 3 heures et demie. L'expérience DXV faite sur un moineau est plus remarquable encore. Cependant, l'expérience DLXIV nous montre un chien sorti sans accidents après 4 heures de séjour sous 5 1/2 atmosphères; mais il avait dans le sang d'abondantes bulles de gaz, et se trouvait, par suite, sous le coup d'une imminence morbide menaçante.

Il n'est peut-être pas sans intérêt de dire, en terminant, que les animaux aquatiques sont au même titre que les animaux terrestres et par le même mécanisme, tués par la décompression brusque. Mais il paraîtra sans doute suffisant de citer une expérience à l'appui de cette assertion qui présente, au point de vue des conditions de vie de ces êtres, un véritable intérêt :

Expérience DLXXXVI. — 6 avril. Anguilles de *la montée*, transparentes, soumises depuis deux jours à la pression de 10 atmosphères d'air.

2^h, décomprimées brusquement; rejettent par la bouche des bulles de gaz.

6^h, sont toutes mortes; on voit battre le cœur, qui est plein d'air; des bulles de gaz s'aperçoivent par transparence dans tous les vaisseaux.

SOUS-CHAPITRE IV

PROPHYLAXIE ET TRAITEMENT DES ACCIDENTS DE LA DÉCOMPRESSION BRUSQUE

En présence de ces accidents redoutables, une double question se pose naturellement à l'esprit : comment les prévenir, comment y remédier ?

On les préviendra, le bon sens l'indique, et l'expérience le prouve, par une décompression suffisamment ralentie. Les expériences résumées dans le tableau XIX donnent à ce sujet des indications fort nettes. On y voit, par exemple, que, en partant de 10 atmosphères, on a évité les accidents graves

en mettant plus de 1 h. 10 pour la décompression (expériences DLXXI, DLXXII, DLXXVII, DLXXVIII). Mais c'est le temps limite, puisque une heure, dans l'expérience DLXXIV, n'a pas empêché la mort. Je laisse de côté les expériences DLXXX et DLXXXI qui constituent une étrangeté encore inexplicable pour moi.

Je n'ai pas remarqué grandes différences entre les cas où la décompression était faite d'une manière continue, à raison, par atmosphère, de 8 minutes (exp. DLXXVIII), ou de 10 minutes (exp. DLXXVI), et celles où elle se faisait par sauts brusques, avec intervalles de repos (exp. DLXXII, DLXXVII). Du reste, les faits ne sont pas assez nombreux pour permettre de conclure à l'avantage de l'une ou de l'autre de ces méthodes.

Mais il reste acquis qu'en partant de 10 atmosphères, on ne peut être assuré qu'un chien sera hors de danger qu'en donnant à la décompression une durée d'au moins 12 minutes par atmosphère. Nous aurons à revenir sur ces faits dans la troisième partie de cet ouvrage.

Arrivons à la seconde question. La décompression a été faite trop brusquement. Des gaz se dégagent dans le sang, qui obstruent certains vaisseaux et menacent de mort l'animal en expérience. Je devais évidemment songer à les faire redissoudre en soumettant l'animal à une compression nouvelle, quitte à le décomprimer avec une lenteur ménagée. C'est ce que j'ai fait dans les deux cas suivants :

Expérience DLXXXVII. — 18 octobre. Chien de l'expérience DXXXVIII (v. p. 947).

Est paraplégique à la suite d'une décompression brusque partant de 7 atmosphères; la paraplégie a commencé à $3^h\ 21^m$.

De $3^h\ 25^m$ à $4^h\ 5^m$, est porté à nouveau à la pression de 7 atmosphères, et y est maintenu jusqu'à $4^h\ 12^m$. On décomprime alors lentement; la pression normale est rétablie à 6^h.

Au sortir, l'animal est toujours paralysé du train postérieur, ou, pour mieux dire, ses pattes de derrière, raides et contractées, n'obéissent plus à la volonté; la sensibilité y est conservée, et l'on obtient des mouvements réflexes au pincement, mais avec un notable retard.

Meurt dans la nuit.

Expérience DLXXXVIII. — 16 octobre. Chien de l'expérience DXXXVII. Paraplégique en raideur depuis 2^h, à la suite d'une décompression venant de 7 atmosphères. Récomprimé à 7 atmosphères de 2^h 15^m à 3^h 2^m, puis décomprimé en une heure.

L'animal paraît en meilleur état et plus calme; mais il est toujours paraplégique, sans raideur ; la température des pattes postérieures est élevée.

Meurt le lendemain.

On ne trouve pas de gaz dans les vaisseaux; mais la moelle épinière présente, depuis le renflement lombaire jusqu'au milieu de la région dorsale, de petites taches hémorrhagiques disséminées dans les faisceaux antéro-latéraux. Il n'y a pas de ramollissement.

Je n'ai pas multiplié ces expériences ; il est évident que la recompression s'effectuait ici trop lentement pour qu'il soit possible de tirer une conclusion quelconque de ces résultats. Je ne doute pas cependant de l'efficacité de cette méthode, à la condition de pouvoir obtenir une recompression très-rapide. On a vu, dans la partie historique, qu'elle était déjà employée par les ouvriers, et recommandée par les médecins qui les avaient soignés.

Les réflexions que j'ai déjà présentées à la page 967 m'avaient mis sur la voie d'une méthode toute différente, ayant pour but non de faire redissoudre les bulles de gaz libres dans le sang, mais de les forcer à s'échapper par la respiration.

Ces bulles sont composées, avons-nous dit, d'azote ; lorsqu'elles arrivent dans les capillaires pulmonaires, elles ne peuvent avoir grande tendance à se diffuser et à se mêler à l'air du poumon, pour cette raison que celui-ci aussi est composé pour les quatre cinquièmes d'azote. Cette réflexion faite, je devais penser qu'en faisant respirer à l'animal un gaz ne contenant pas d'azote, de l'oxygène pur, par exemple, la diffusion se ferait beaucoup plus vite, et serait peut-être même assez rapide pour faire disparaître tout le gaz du sang, et sauver l'animal. Je donne ici les résultats d'un certain nombre d'expériences faites par cette méthode :

Expérience DLXXXIX. — 31 octobre. Chien de l'expérience DXLIII. Décomprimé de 7 atmosphères 1/4, couché, fort malade depuis 2^h 15^m, avec gargouillements au cœur.

A 2h 20m, on lui fait respirer d'une manière continue de l'oxygène pur.

A 2h 30m, le bruit du gargouillement a cessé, la respiration est plus libre, l'animal essaye de se relever à l'aide des pattes antérieures; son œil n'est plus hagard.

A 4h 30m, on cesse la respiration d'oxygène. L'animal est tout à fait bien au point de vue de la respiration et du cœur. Mais il est toujours paralysé, ou du moins ne peut se tenir sur ses pattes, bien qu'il ait des mouvements spontanés des membres et de la tête.

Trouvé mort le lendemain. Pas de gaz au cœur ni dans les vaisseaux.

Expérience DXC. — 12 novembre. Chien de l'expérience DXLV.

3h 12m. Décomprimé de 7 atmosphères 1/4, paralysé, avec fort gargouillement au cœur, et grandes difficultés respiratoires.

3h 20m. On commence la respiration d'oxygène pur.

3h 35m. Les respirations sont très-amples et fréquentes; il n'y a plus de bruit de souffle au cœur. L'animal fait des mouvements généraux, et essaye d'enlever sa muselière avec ses pattes.

Les respirations se régularisent pendant un certain temps, puis elles diminuent d'intensité, et vers 4h 30m, il est manifeste que l'animal s'épuise et va mourir.

On l'ouvre à 4h 45m, alors qu'il est près de mourir. Pas de gaz dans les veines ni dans le cœur.

Expérience DXCI. — 25 novembre. Chienne de l'expérience DXLVII.

Décomprimée de 7 1/2 atmosphères, paralysée à 3h 23m, gargouillements, insensibilité, etc.

3h 28. La respiration étant arrêtée, on est obligé de faire la respiration artificielle avec de l'oxygène. Au bout de 6 à 7 respirations artificielles, les mouvements spontanés reviennent, le cœur recommence à battre nettement, les gargouillements diminuent, la sensibilité disparaît.

Mais à ce moment l'oxygène se perd, et on ne peut continuer l'expérience; l'animal meurt presque aussitôt après.

On trouve le cœur droit tout gonflé de sang, avec un peu de mousse seulement.

Expérience DXCII. — 27 novembre. Chien de l'expérience DXLVIII.

Paralysé, gargouillements très-forts, décomprimé de 7 atmosphères.

Au moment où commencent les respirations d'oxygène, les gargouillements du cœur paraissent augmenter un peu, puis le cœur cesse presque complétement de battre; graduellement il devient assez fort et fréquent. Mais le gaz ne cesse de revenir par le bout supérieur de la veine jugulaire mise à nu, et l'animal meurt après une demi-heure.

Sang très-rouge, et sans gaz au cœur gauche; sang assez rouge avec bulles fines au cœur droit.

Expérience DXCIII. — 6 décembre. Chien de l'expérience DL.

Décomprimé de 7 1/2 atmosphères à 3h 22m. Aussitôt paraplégique,

pattes antérieures un peu raides, mais se retirant quand on les pince; pattes postérieures raides et insensibles; gargouillements très-forts.

Je lui fais respirer de l'oxygène et mets à nu sa veine jugulaire, qui est pleine de gaz.

Aussitôt les respirations se régularisent; peu à peu les bulles de gaz deviennent moins grosses à la jugulaire, la sensibilité revient un peu aux pattes postérieures; l'animal va évidemment mieux.

Vers 5h, les gaz ont complétement disparu de la jugulaire; l'animal redresse la tête quand on l'appelle en sifflant. On continue la respiration d'oxygène jusqu'à 9h du soir.

10 *décembre.* — N'est plus complétement paralysé du train postérieur; peut se tenir debout et traîne les pattes sur le dos des doigts en marchant. Sensibilité exagérée aux membres postérieurs. Caractère devenu méchant.

11 *décembre.* — Couché, paralysé; légers mouvements réflexes du train postérieur. Sensibilité très-exagérée dans les membres antérieurs. Temp. rect. 37°,9.

12 *décembre.* — Meurt.

Rien à noter aux viscères thoraciques et abdominaux.

Pas de ramollissement médullaire. Les coupes transversales de la moelle montrent dans la substance blanche et la substance grise un piqueté rouge qui va en diminuant de la région lombaire à la région cervicale.

Expérience DXCIV. — 11 décembre. Chien.

Comprimé à 8 atmosphères. Décomprimé très-lentement à 7 3/4. Puis en 3m, à la pression normale: 5h 15m.

On retire immédiatement l'animal et lui fait respirer de l'oxygène.

5h 25m. 120 pulsations; sa température rectale, qui était avant l'expérience à 38°,5, est à 37°,5. Respiration régulière; on voit des bulles de gaz dans la jugulaire mise à nu.

5h 30m. Mis à terre un moment, est paraplégique.

5h 50m. 90 pulsations; il n'y a jamais eu de gargouillements au cœur; on ne voit plus de gaz dans la jugulaire; température 37°,2.

6h 15m. On cesse la respiration d'oxygène; mis à terre; n'est plus paralysé, et traîne seulement un peu la patte postérieure gauche sur les orteils; les pattes de derrière semblent insensibles.

Il est entraîné par un mouvement de manége qui le fait tourner sur sa droite; la tête se courbe fortement à droite, les yeux se tournent de même. Il a un fort nystagmus et des trépidations des muscles du cou. Quand il veut marcher, il prend maintes précautions, puis, au moindre obstacle, il tombe en tournant sur le flanc droit.

6h 30m. Amélioration manifeste; les pattes de derrière et la queue sensibles; l'animal marche beaucoup mieux et paraît intelligent.

6h 45m. L'amélioration ne se soutient pas; l'animal traîne de nouveau la patte gauche.

12 *décembre.* — Plus paralysé que la veille, ne peut presque pas marcher, et tourne encore à droite.

L'excitation des pattes postérieures amène d'énergiques mouvements réflexes; mais le chien ne semble pas s'en apercevoir. Les pattes postérieures, surtout la gauche, sont plus chaudes que les autres.

14 *décembre.* — Toujours paraplégique, ne peut se soutenir même un instant.

18 *décembre.* — Même état; urine facilement; mouvements réflexes énergiques.

Expérience DXCV. — 13 décembre. Chien.

Porté à 8 1/4 atmosphères; décomprimé en 3m. Aussitôt, à 3h, respirations d'oxygène.

Il n'est pas paralysé; mais après quelques minutes, la paraplégie commence et devient complète, avec mouvements réflexes persistants.

On n'entend à aucun moment des gargouillements au cœur, et la respiration s'opère assez bien.

4h 50m. On cesse la respiration d'oxygène. L'animal ne peut se tenir sur les pattes postérieures. La respiration se fait bien, les battements du cœur sont purs.

6h 30m. Même état; sensibilité obtuse des pattes postérieures.

14 *décembre.* — Couché, ne peut se tenir sur les pattes postérieures, bien qu'il puisse les remuer spontanément, et qu'il y perçoive les piqûres.

Meurt dans la nuit du 14 au 15.

Les faits qui viennent d'être rapportés, et dont les résultats étaient déjà consignés au tableau XVIII, montrent qu'une de nos prévisions a été parfaitement réalisée. Sous l'influence de la respiration d'oxygène pur, les gaz contenus dans les veines et le cœur droit ont diminué, puis disparu ; les gargouillements cardiaques ne sont pas survenus lorsque la respiration d'oxygène était faite de bonne heure, ou ont cessé par son fait. Le danger d'une mort immédiate, par arrêt de la circulation pulmonaire, a donc été conjuré[1].

Mais cependant nous n'avons pu sauver nos animaux ; les paralysies ont persisté, et, malgré une amélioration immédiate réelle, ont fini par emporter les sujets en expérience.

C'est que la respiration d'oxygène n'a pu ramener dans le torrent circulatoire et faire disparaître les bulles de gaz arrêtées çà et là dans les capillaires du système nerveux central.

[1] Il résulte de ceci que la respiration d'oxygène serait un moyen efficace de combattre les effets de l'introduction de l'air dans les veines. J'ai fait à ce point de vue un certain nombre d'expériences tout à fait encourageantes pour les chirurgiens.

C'est qu'elle n'a pu, à plus forte raison encore, faire résorber les bulles qui, ainsi que nous l'avons vu, se dégagent dans l'épaisseur même des tissus.

Sur elles, la recompression seule peut avoir un effet utile. Mais, d'autre part, la recompression ne peut faire redissoudre une collection gazeuse un peu considérable ramassée dans le cœur droit.

Nous sommes donc amené à recommander l'emploi successif de la respiration d'oxygène, pour obtenir l'élimination de l'azote emmagasiné dans le cœur veineux, et de la recompression pour redissoudre les bulles arrêtées dans les capillaires ou disséminées dans les tissus.

Encore ne peut-on se flatter d'une guérison certaine, pour cette raison que les bulles de gaz, en repassant à l'état libre au sein de tissus délicats, comme ceux de la moelle épinière, peuvent y avoir occasionné des désordres, des dilacérations, dont leur disparition ne saurait suffire pour conjurer les funestes effets.

C'est donc aux moyens préventifs, c'est donc à la décompression lente que l'on devra s'attacher dans l'industrie, et c'est là un point sur lequel nous reviendrons dans notre troisième partie.

SOUS-CHAPITRE V

RÉSUMÉ.

En résumé, la décompression non ménagée, à partir de plusieurs atmosphères, amène des accidents d'une gravité variable suivant le degré de la compression, la rapidité de la décompression, les espèces animales, les individus, l'état actuel de l'individu en expérience.

Ces accidents doivent être attribués au dégagement de l'azote qui s'était emmagasiné dans l'organisme en excès, suivant les exigences de la loi de Dalton.

Ce gaz repasse à l'état libre dans les vaisseaux sanguins, les divers liquides organiques, l'épaisseur même des tissus ;

il peut ainsi, suivant les cas, arrêter la circulation pulmonaire, anémier et amener au ramollissement certaines régions des centres nerveux et particulièrement le renflement lombaire de la moelle épinière, dilacérer les tissus, produire des tumeurs ou un emphysème plus ou moins étendu. La gravité des accidents dépend tout à la fois du siége et de l'étendue de ces désordres multiples.

Une décompression ménagée de 12 minutes par atmosphère est nécessaire pour mettre les chiens à l'abri des accidents, lorsque la compression s'est élevée aux environs de 10 atmosphères.

Une recompression immédiate, ou consécutive à la respiration d'oxygène dans le cas où l'on constate des gargouillements au cœur, est le seul moyen de combattre efficacement les accidents de la décompression.

CHAPITRE VIII

QUESTIONS DIVERSES.

Je traite dans ce chapitre d'un certain nombre de questions qui n'ont avec le sujet de mes études que des rapports un peu indirects, mais qui ne lui sont cependant pas étrangères. Telle la question de l'asphyxie, et celle de l'action toxique de l'acide carbonique, dont il a été tant de fois question, particulièrement dans le premier chapitre de cet ouvrage.

SOUS-CHAPITRE PREMIER

ACTION DE L'ACIDE CARBONIQUE SUR LES ÊTRES VIVANTS.

Les expériences rapportées dans le chapitre I, sous-chapitre II, m'ont fait voir que la mort des animaux maintenus en vases clos, dans de l'air comprimé à plusieurs atmosphères, arrive lorsque la tension de l'acide carbonique qu'ils ont formé en respirant s'élève à une certaine valeur constante.

Cette première constatation a dû appeler tout particulièrement mon attention sur l'étude des effets de l'acide carbonique sur les êtres vivants, étude qui se rattache ainsi indirectement à mon projet. Ce sont les résultats de ces recherches que je vais consigner ici.

§ 1er. — De la tension mortelle de l'acide carbonique dans l'air ambiant.

Je rappelle, d'abord, que la tension d'un gaz T est le produit des deux facteurs, la composition centésimale C et la pression barométrique P.

Chez les moineaux, ainsi que nous l'avons vu (voy. p. 587), la mort arrive lorsque la tension de l'acide carbonique s'élève à une valeur de 24 à 28, quand l'on a, en d'autres termes, l'équation

$$C \times P = 24 \text{ à } 28.$$

Ainsi, plus la pression sera forte, plus faible sera la proportion centésimale nécessaire pour amener la mort, et réciproquement. Ainsi encore, à la pression normale et aux pressions inférieures, il faudra, pour que les animaux périssent, qu'ils aient été renfermés dans de l'air suroxygéné, car l'air ordinaire ne pourrait fournir les 24 à 28 centièmes mortels à une atmosphère, les 48 à 56 mortels à une demi-atmosphère, etc. C'est, en effet, ce que nous ont montré les expériences multiples consignées au chapitre Ier.

J'ai fait un assez grand nombre d'expériences sur des animaux d'espèces différentes, desquelles il résulte que la valeur de la tension mortelle de l'acide carbonique varie suivant l'espèce.

Voici, par exemple, deux expériences faites sur des rats :

Expérience DXCVI. — 5 août.

Rat mis à 3h dans le petit récipient à eau de Seltz, à 7 atmosphères.

Trouvé mort à 6h ; les muscles se contractent encore.

Poumons gonflés au maximum, ne se rétractant pas à l'ouverture de la poitrine ; gaz dilatés dans l'estomac.

Gaz dans sang du cœur droit, mais non dans le cœur gauche.

Air mortel, CO^2 4,4 ; O 14,8.

Tension du $CO^2 = 30,8$.

Expérience DXCVII. — 19 août.

Rat pesant 180g, mis à 11h 45m à 7 atmosphères et 1/2.

Même appareil ; meurt à 2h.

Énorme dilatation des gaz de l'estomac.

Pas de gaz, même dans le cœur droit
Air mortel, CO^2 4 ; O 14,3.
Tension du $CO^2 = 30,0$.

On voit ici que la tension mortelle de l'acide carbonique est, pour les rats, un peu plus forte que pour les oiseaux. C'est, du reste, un fait général chez les mammifères, comme le prouveront tout à l'heure les expériences faites sur les chiens, expériences qui donneront, en outre, l'explication des irrégularités apparentes dans la valeur de la tension mortelle. Je n'ai pas cru devoir insister sur ces différences d'espèce à espèce; une seule, que j'ai autrefois signalée[1], mérite d'être ici rappelée, comme j'en rappellerai ailleurs la conséquence générale. C'est à savoir que les batraciens et les reptiles redoutent beaucoup plus l'acide carbonique que ne le font les animaux à sang chaud. Voici quelques expériences à l'appui de cette importante proposition.

Les unes ont été faites en employant, à la pression normale, de l'air suroxygéné :

Expérience DXCVIII. — 13 février. Couleuvre à collier, mise dans une cloche de 875cc, avec de l'air à 77 pour 100 d'oxygène.
Meurt le 21 février.
L'air contient 13,5pour 100 d'acide carbonique, et 61 pour 100 d'oxygène.

Expérience DXCIX. — 16 mars. Grenouille mise dans une cloche de 400cc, avec de l'oxygène pur.
Meurt le 23 mars. La température a été de 6 à 7°.
L'air contient : O : 81; CO^2 17.

Expérience DC. — 16 mars. Grenouille placée dans une cloche de même dimension, dans même air que la précédente.
Meurt le 25 mars.
L'air contient : O : 84 ; CO^2 13,7.

Pour d'autres, l'air suroxygéné a été additionné d'avance d'une certaine proportion d'acide carbonique :

Expérience DCI. — 3 août. Lézard gris, mis à $4^h\ 15^m$ dans une cloche contenant 570cc d'un air à 78,9 pour 100 d'oxygène, le reste en azote.

[1] *Leçons sur la physiologie comparée de la respiration*, p. 521.

Le 4, bâille beaucoup, fort mal à son aise; le malaise va en augmentant, et l'animal meurt le 6 vers 2^h (70^h).

La température a varié de 23° à 29°.

Il y a dans la cloche 15,7 pour 100 de CO^2.

Expérience DCII. — 3 août. Lézard gris, mis à 5^h 15^m dans une cloche contenant 550^{cc} d'un air à 90 pour 100 d'oxygène, avec 10 pour 100 de CO^2.

4 août. Encore un peu sensible à 4^h du soir; est trouvé mort à 9^h (environ 28^h).

La température a varié de 23° à 29°.

L'air contient 16 pour 100 de CO^2.

Expérience DCIII. — 3 août. Grenouille mise à 5^h 45^m sous une cloche de 550^{cc} contenant : O : 90 ; CO^2 : 10.

4 août. 10^h du matin, paraît à peine respirer.

Meurt à 2^h (a vécu 20^h). La température du laboratoire a varié de 23° à 29°.

Il y a dans la cloche 17 pour 100 de CO^2.

Pour d'autres, enfin, l'expérience a été faite dans l'air comprimé :

Expérience DCIV. — 28 juillet. Température : 22°. Deux grenouilles sont mises à 3^h dans le petit récipient à eau de Seltz, et soumises à 5 atmosphères de pression.

Rien de bien particulier, les deux ou trois jours suivants.

1er *août.* 1^h. Sont évidemment fort malades.

Meurent vers 3^h.

L'air contient 3,2 pour 100 de CO^2 ; la tension est donc de $3,2 \times 5 = 16$.

Ainsi, par l'une ou l'autre de ces méthodes multiples, on voit que la tension mortelle de l'acide carbonique pour les reptiles oscille entre 13,5 et 17, tandis qu'elle est pour les moineaux de 24 à 28, et qu'elle atteint et dépasse 30 pour les mammifères.

§ 2. — De la dose mortelle de l'acide carbonique dans le sang.

Dans les expériences dont le récit va suivre, j'ai cherché d'abord à déterminer la dose mortelle de l'acide carbonique, non plus dans le milieu extérieur, mais dans le sang; puis, à établir les rapports qui existent entre la proportion croissante de ce gaz dans l'air où est confiné l'animal, et son abondance dans le sang.

Ces expériences ne pouvaient évidemment être faites que sur des chiens, et je ne pouvais penser à essayer pratiquement de les maintenir en vases clos dans l'air comprimé. J'ai donc dû employer la méthode de la respiration dans l'air suroxygéné, à la pression normale.

La disposition des appareils était des plus simples. L'animal, solidement attaché, était forcé de respirer, soit par une muselière bien close, soit directement par la trachée, dans un vaste sac de caoutchouc faiblement gonflé par l'oxygène. Un petit orifice permettait de puiser l'air à divers intervalles, en prenant toutes les précautions pour que l'échantillon représentât bien la composition moyenne de l'air du sac.

Arrivons maintenant au récit de ces expériences :

Expérience DCV. 14 février. Chien de 6,5 kilogrammes : malade, avec un pneumo-gastrique coupé depuis 4 jours.

3^h. Placé un tube dans la trachée. Mis à respirer dans le sac de caoutchouc où l'on introduit de l'*air*. Après 10^m, je tire à l'artère fémorale 70^{cc} de sang. . . . . A

Remis à l'air libre.

$3^h\ 35^m$. Mis à respirer dans le sac, qui contient alors un mélange à 94 pour 100 d'oxygène. Après 15^m, tiré 70^{cc} de sang . . . . B

$5^h\ 15^m$. L'animal fait de grandes inspirations. Tiré 44^{cc} de sang . . . C

9^h. A peine sensible à l'œil ; 15 à 16 respirations, à trois temps, semblables à celles des tortues ; température rectale 27°. Le gaz du sac contient CO^2, 28 ; O 60 ; $CO^2+O=88$; il y a eu une absorption très-manifeste, correspondant à 6 pour 100 d'oxygène disparu.

Je tire 37^{cc} de sang, qui vient difficilement. . . . . D

Je laisse respirer l'animal à l'air libre.

A (air)	contient pour 100^{cc} de sang :	O 16 ;	CO^2 29,5
B (oxygène)	—	18,4 ;	— 20,6
C	—	17,5 ;	— 50,1
D (CO^2 : 28 ; Ox : 60)	—	17,9 ;	— 68,4

A 10^h, l'animal respire encore de même, et a la même température.

Trouvé mort le lendemain.

Expérience DCVI. — 16 février. Chien très-robuste, pesant 15 kilogrammes.

Tube dans la trachée; artère carotide à nu.

$2^h\ 40^m$. Mis à respirer dans un sac contenant environ 30 litres d'*air ;* au bout de 3^m, je tire 50^{cc} de sang. . . . . A

Remis à respirer à l'air.

2^h 50^m. Réadapté au sac de caoutchouc, qui contient 35 litres d'un mélange à environ 90 pour 100 d'*oxygène*. A 3^h, tiré 50^{cc} de sang évidemment plus rouge. . . . . B

4^h 5^m. De grandes respirations apparaissent; pris de l'air du sac, qui contient 21,4 pour 100 de CO^2; tiré 50^{cc} de sang très-rouge C

$4^h 35^m$. Température rectale 35°.

5^h 25. Température rectale 33°; 5^h 30^m, pris 50^{cc} de sang . . . . . D

$5^h 45^m$. Pris dans le cœur droit, par la jugulaire droite, 30^{cc} d'un sang bien rouge . . . . E

A 5^h 50^m, extrait air du sac, qui contient : CO^2 37,3 et O 48,8.

Il est probablement entré un peu d'air dans le cœur, car le chien est pris de trépidations, de convulsions, de raideurs; on le détache.

A 6^h 1/4, température rectale 34°.

A 9^h du soir, est très-bien remis; survit.

A (air)	contient pour 100^{cc} de sang :	O 21,0;	CO^2 43,5
B (oxygène)	—	22,4;	— 43,9
C (ox. depuis 1^h 15^m : CO^2 21,4)	—	22,0;	— 89,0
D (ox. depuis $2^h 35^m$: CO^2 env. 35)	—	19,9;	— 87,2
E (sang veineux, CO^2 37,3; O 48,8)	—	16,5;	— 82,3

Expérience DCVII. — 1[er] mars. Chien de grande taille : muselière.

Pendant qu'il respire à l'air libre avec une rapidité extraordinaire, je tire à l'artère fémorale 70^{cc} de sang . . . . A
et à la veine 40^{cc}. . . . . A′

3^h 45^m. Mis à respirer dans le sac plein d'oxygène.

3^h 50^m. Sang veineux à la fémorale. 40^{cc} . . . . B′

3^h 55^m. Gaz du sac. . . . . β

3^h 58^m. Sang artériel, 40^{cc} . . . . B

A 5^h 25^m, 30 ou 40 respirations calmes à la minute; température rectale 37°; pris 40^{cc} de sang artériel C

L'air du sac contient CO^2 32,8; O 53,3. . . . . γ

A 6^h, l'animal étant fort malade, on injecte avec précaution, par un petit orifice, de l'acide carbonique dans le sac, en surveillant avec soin et brassant le sac de manière à obtenir un mélange aussi parfait que possible.

Vers 7^h, il devient évident que l'animal va périr; on cesse l'injection de l'acide; température rectale 36°. L'animal respire encore plusieurs fois. Pendant les dernières respirations, je tire avec difficulté 47^{cc} de sang du cœur droit; très-noir . . . . D′

Tiré ensuite, avec tout autant de difficulté, par la carotide gauche, 40^{cc} de sang bien rouge . . . . D

Immédiatement après, pris gaz du sac. . . . . δ

Je mets aussitôt un tube dans la trachée et recueille sous l'eau l'air des poumons, en ouvrant le thorax. Il contient pour 100 : 60,8 de CO^2 et 18,8 d'oxygène.

Résumé de l'expérience :

	O	CO^2
A (air libre ; respir. extrêm. rapides ; sang artériel)	24,8	19,5
A' — — veineux	10,0	29,0
B (air β : O 81,8 ; CO^2 3,8, sang artériel)	23,4	33,6
B' — — veineux)	11,9	31,3
C (air γ : O 53,3 ; CO^2 32,8 ; sang artériel)		66,7
D (air δ : O 37,6 ; CO^2 51,5 ; sang artériel)	17,5	79,5
D' (— — veineux)	4,4	73,3

Expérience DCVIII. — 4 mars. Chien pesant 3 kil. 950.

Placé sous une cloche de verre de 31[l] ; amené la pression à 17[c] ; l'animal s'agite beaucoup, se dresse anxieux : laissé rentrer de l'oxygène. Je ramène alors la pression à 8[c] : mêmes symptômes, et laissé encore rentrer l'oxygène jusqu'à la pression normale.

Le robinet est fermé à 2[h] 45[m] ; l'air contient 81 pour 100 d'oxygène.

4[h] 5[m]. Animal anxieux, respirant péniblement, se dressant dans la cloche, pris air . . . . β

5[h] 30[m]. L'animal vient de tomber sur le flanc ; pris air. . . . . . . γ

6[h] 10[m]. Couché, indifférent aux chocs sur la cloche, semble insensible ; 16 respirations énormes, très-pénibles ; pris air . . . . δ

9[h] 30[m]. Trouvé mort ; il y a eu absorption assez notable pour que la pression ait diminué de 4 à 5[c] dans la cloche ; pris air. . . . . ε

Ainsi, en résumé :

		O	CO^2
Anxieux, avec air	β :	64,9 ;	15,7 ;
Tombe —	γ :	60,5 ;	20,2 ;
Insensible —	δ :	53,8 ;	27,0 ;
Mort —	ε :	46,3 ;	34,1.

En tenant compte de la diminution de pression de la cloche, on calcule aisément qu'il y a eu environ 1300[cc] d'oxygène, qui ont été absorbés sans avoir reparu à l'état gazeux comme acide carbonique.

Expérience DCIX. — 8 mars. Chien de moyenne taille ; canule dans la trachée ; artère fémorale à nu.

3[h] 30[m]. Mis à respirer dans le sac contenant de l'*air ;* respiration calme ; tiré 50[cc] de sang à l'artère fémorale . . . . A

3[h] 53[h]. Mis à respirer dans le sac qui contient de l'*oxygène* à environ 90 pour 100. Présente une *apnée* presque complète : à peine quelques petits mouvements respiratoires. A 4[h] 10[m], tiré 50[cc] de sang très-rouge. B

5[h] 20[m]. Respirations forcées, très-gênées ; pris de l'air dans le sac ; il contient CO^2 9 ; O 80,8. Tiré 40[cc] de sang très-rouge. C

6[h] 15[m]. Température rectale 33° ; respirations très-anxieuses ; œil sensible. L'air du sac contient CO^2 18, O 70 ; tiré 40[cc] de sang rouge. . . . D

			O	CO^2
Sang	A (air)	contient pour 100[cc] de sang :	O 18,9	CO^2 36,5.
—	B (oxygène)	—	— 23,0	— 42,8.
—	C (O 80,8 ; CO^2 9)	—	— 24,7	— 60,8.
—	D (O 70 ; CO^2 18)	—	— 17,6	— 71,6.

EXPÉRIENCE DCX. — 12 mars. Chien pesant 9 kilogrammes. Tube dans la trachée. Artère fémorale à nu.

2h 20m. Respire *air* dans le sac de caoutchouc, depuis 2 à 3m ; respirations très-calmes ; tiré 45cc de sang artériel. . . . . A
et 35cc de sang veineux dans la veine cave inférieure . . . . A'

2h 55m. Mis à respirer mélange à environ 90 pour 100 d'*oxygène*.

3h 10m, tiré 45cc de sang artériel plus rouge que A. . . . .
et 35cc de sang à la veine cave inférieure. . . . . B'

3h 20m. Air du sac : O 81,7 ; CO^2 7,9.

5h 45m. 16 respirations très-anxieuses ; 100 pulsations faibles ; œil insensible ; température rectale 30° ; pris sang veineux à la veine cave inférieure au niveau des reins. . . . . C'

6h 35m. L'air du sac contient CO^2 32,5 ; O 55.

6h 45m, 12 respirations ; 87 pulsations ; température rectale 28°,5 ; pris 45cc de sang artériel bien rouge . . . . D

Tiré ensuite dans le cœur droit 35cc de sang . . . . D'

N'était pas mort à 7h 30m ; température rectale 28°.

	O	CO^2
Sang A (air, sang artériel).	22,0	46,7
— A' (— veineux).	16,1	57,3
— B (env. 83 d'O et 6 de CO^2, sang artériel).	24,2	54,1
— B' (— veineux).	9,8	70,6
— C' (env. 60 d'O., sang veineux).	6,7	73,1
— D (env. O 53 ; CO^2 33, sang art.) . . . . , .	93,8	18,0
— D' (— sang du cœur droit).	12,3	101,4

Le lendemain, l'animal étant mort depuis la nuit, on trouve l'estomac très-distendu par des gaz qui contiennent 50 pour 100 de CO^2 et 5 pour 100 d'oxygène.

L'air du sac contenait O 50,6 ; CO^2 34,8 ; celui des poumons : O 23,5 ; CO^2 57,7.

Je prends dans la vessie 45cc d'urine, et l'introduis dans la pompe à extraction des gaz, où se trouve déjà un peu d'acide sulfurique dilué et bien privé de gaz. Je trouve ainsi que 100cc d'urine contiennent 106cc d'acide carbonique.

EXPÉRIENCE DCXI. — 17 avril. Chien pesant 9 kil. ; tube dans la trachée.

11h 5m. Mis à respirer dans le sac contenant 28l d'*oxygène*. Pas d'apnée visible.

11h 20m. Température rectale 37°,5.

3h 5m. Insensible à l'œil ; 10 respirations, 64 pulsations, température rectale 30°.

3h 45m. 51 pulsations, 6 respirations ; 29°.

4h 5m. 48 pulsations, 1 respiration toutes les 2m.

4h 15m. Tiré sang du cœur droit, 50cc, assez rouge. . . . . A

4h 40m. 45 pulsations ; respirations toutes les 2 ou 3m ; temp. 27°,8.

4h 50m. Le cœur bat encore ; plus de respiration depuis environ 10m.

Tiré 50cc sang du cœur gauche, peu rouge . . . . B

5h. Le cœur ne bat plus depuis quelques minutes; tiré du cœur droit sang très-noir, 50cc C

A 5h 15m, l'air du sac contient CO^2 45,4 ; O 39 ; cette composition n'a pu changer sensiblement depuis la mort, par endosmose, car à 6h 45m, j'y retrouve 44,6 d'acide carbonique pour 100.

A (cœur droit; respirations dans oxygène depuis 5h 10m) contient : O 16,6; CO^2 101,4;

B (cœur gauche ; O 39 ; CO^2 45,4) contient : O 10,8; CO^2 116,6 ;

C (cœur droit; O 39; CO^2 45,4) contient : O 0,7 ; CO^2 120,4.

Expérience DCXII. — 15 mars. $\theta = 13°$. Chienne jeune, pesant 8k,5. Température vaginale 39°.

2h 25m. Mis à respirer par la trachée dans le sac contenant 40l d'air à 83 pour 100 d'oxygène.

Respirations extrêmement rapides.

2h 30m. Pris 25cc de sang artériel carotidien ; il y a alors 100 pulsations ; le sang est extrêmement rouge . . . . A

2h 55m. 72 respirations plus amples ; température vaginale 36°,1.

3h 5m. Pris air du sac . . . . β

3h 7m. 60 respirations, assez amples ; température 35°; pris 25cc de sang artériel . . . . B

4h 4m. 56 respirations ; température 31° ; air du sac . . . . γ

4h 6m. 25cc de sang, très-rouge. C

4h 20m. Respirations, 44; pulsations, 51 ; $\theta = 30°$.

4h 50m. Respirations, 28; pulsations, 32 ; urine.

5h 15m. Respirations, 20; pulsations, 24 ; $\theta = 27°$.

5h 25m. Respirations, 16; pulsations, 16; $\theta = 26°,5$; insensible à un œil, encore un peu de sensibilité à l'autre.

5h 32m. Pris 15cc de sang carotidien, bien rouge. . . . . D

5h 38m. $\theta = 25°$; on cesse la respiration dans le sac, dont on prend de l'air . . . . δ

Après quelques minutes, l'animal, encore insensible à l'œil, est pris de raideurs des pattes et du cou, avec une certaine agitation des membres ; on le détache. Il présente alors des mouvements lents et engourdis, comme ceux d'une marmotte qui se réveille.

6h 20m. Animal calme; respirations, 24; pulsations, 32; $\theta = 25°$. Je tire 25cc de sang bien rouge, puis j'enlève le tube trachéal . . . . E

Le lendemain, l'animal est parfaitement revenu à lui ; sa température vaginale est remontée à 40°. Survit.

Résumé de l'expérience :

	O	CO^2	θ
Sang A (O à 83 pour 100).	24,7	27,5	39°
— B (air β : O 71,6; CO^2 13,3). .	23,4	51,1	35°
— C (air γ : O 61; CO^2 21,5) . . .	22,6	69,5	31°
— D (air δ : O 55 ; CO^2 29.6) . . .	20,3	72,3	25°
— E (40m après, resp. à l'air libre).	23,0	40,6	25°

EXPÉRIENCE DCXIII. — 19 mars. θ 18°. Chienne terrier pesant 9k.

A 2h 25m, mis un tube dans la trachée ; temp. vag., 38°.

2h 32h, mise à respirer dans un sac contenant 40l d'air à 89,4 d'oxygène.

Respirations extrêmement rapides.

2h 43m, tiré à la carotide 25cc de sang médiocrement rouge . . . . . A
100 resp.; puls. 108 ; temp. 37°,5.

3h 10m, pris air du sac . . . . β

3h 13m, tiré 25cc de sang . . . . B

3h 20m, resp. 36 ; puls. 76 ; θ 37°.

3h 38m, resp. 36 ; puls. 72, irrégulières ; θ 36°,8, urine ; pris air du sac. . . . . γ

3h 48m, θ 35°,9.

4h, resp. 36 ; un cardiomètre placé à la carotide oscille de 11c,5 à 19c.

4h 10m, θ 35°,2 ; pris air du sac. . . . . δ

4h 18m, 25cc de sang . . . . D

4h 30m, $\theta = 34°,5$; pattes insensibles, œil encore sensible ; resp. 56 ; puls. 72.

4h 59m, $\theta = 33°,5$; air du sac. . . . . ε

5h 5m, absolument insensible, sauf à l'œil.

5h 20m, resp. 68 ; puls. 80 ; θ 32°,8 ; pris air du sac. . . . . η

5h 35m, θ 32°,2.

5h 45m, air . . . . ζ

5h 48m, resp. 52, un peu irrégulières ; puls. 58, très-faibles : $\theta = 32°$; sang 30cc . . . . G

La cornée devient insensible ; la conjonctive conserve encore quelque sensibilité.

6h, resp. 44 ; puls. 44 ; $\theta = 31°,2$.

6h 10m, 25cc de sang . . . . H

On enlève le sac, après avoir pris de l'air pour l'analyse . . . . . . χ

Après quelques respirations à l'air libre, l'animal présente des raideurs, qui durent peu. Mis à terre, il se tord lentement, sans sensibilité manifeste.

J'enlève le tube trachéal.

Vers 6h 30m, la sensibilité revient très-nettement. A 7h, excité, se relève et essaye de marcher.

Le lendemain, bien remis ; survit.

	O	CO^2	θ
Sang A (Air à 89,4 p. 100 d'oxyg.)	25,5	28,9	38°
— B (Air β : O : 78,4 ; CO^2 : 8,7). . . .	23,7	52,6	37°
Air γ : O : 71,2 ; CO^2 : 14,8 . . .	»	»	36°,8
— D (Air δ : O : 66,0 ; CO^2 : 19,4) . . .	22,9	72,2	35°
Air ε : O : 58,4 ; CO^2 : 27,3 . . .	»	»	33°,5
Air η : O : 53,3 ; CO^2 : 32,1 . . .	»	»	32°,8
— G (Air ζ : O : 50,4 ; CO^2 : 34,9) . . .	18,3	72,6	32°
— H (Air χ : O : 47,0 ; CO^2 : 38,1) . . .	17,2	82,8	31°,2

Expérience DCXIV. — Chien pesant 7k,7. θ = 16°.

Mis à 10h 30m un tube dans la trachée. A 10h 45m, sa temp. rectale est 38°,2.

11h 35m, mis à respirer dans le sac contenant 40l d'un air . . . . . α

11h 43m, pris 28cc de sang carotidien. . . . . A

12h 45m, resp. 60, inég. ; puls. 120 ; θ 38°,1 ; pris air . . . . B

1h 50m, pris air . . . . γ

Resp. 40, inég. ; puls. 96 ; l'animal est à peu près insensible.

2h 25m, resp. 36 ; puls. 96 ; θ 31° ; œil peu sensible.

2h 55m, resp. 30 ; puls. 66, géminées ; θ 29°,8 ; pris air . . . . . . δ

3h 23m, pris air . . . . ε

3h 25m, resp. 28 ; puls. 60 ; θ 28°,8 ; pris 26cc de sang. . . . . . . B

3h 45m, resp. 28 ; puls. 52 ; θ 28°,2 ; pression carotidienne oscillant de 12 à 14c ; œil encore un peu sensible.

4h 5m, resp. 20 ; puls. 44 ; θ 27°,8 ; œil encore un peu sensible ; pris air . . . . η

4h 37m, œil insensible ; resp. 20 ; puls. 43 ; θ 27° ; pris air . . . . . ζ

5h 5m, resp. 22 ; puls. 48 ; θ 26° ; pris air . . . . κ

5h 21m ; θ 25°,2.

5h 35m, resp. 4 ; puls. 40, très-faibles ; θ 25° ; pris air. . . . . λ

5h 50m, θ 24°,5.

5h 55m, resp. 3 ; puls. 36 ; θ 24° ; pris sang au cœur gauche, avec la sonde ; bien rouge C

6h 15m, resp. 2 ; puls. 36 ; θ 23°,5 ; pris air. . . . . μ

Les respirations deviennent de plus en plus rares, puis cessent quelques minutes avant les battements du cœur. Celui-ci s'arrête à 6h 35m ; θ = 23°.

A 6h 45m, je prends du sang dans le cœur gauche, il est très-noir . . D

Pris également air du sac . . . . ν

Le nerf sciatique fait encore contracter les muscles à 7h 25m.

Le tableau ci-dessous donne les résultats de l'expérience :

	Au début	Après 1h 5m	Après 2h 10m	Après 3h 15m	Après 3h 43m	Après 4h 25m	Après 5 h.	Après 5h 25m	Après 5h 55m	Après 6h 35m	Après 6h 55m
	α	β	γ	δ	ε	η	ζ	κ	λ	μ	ν
Oxygène du sac.	70,5	38,6	47,9	42,7	39,7	37,1	34,8	34,9	34,2	33,7	32,5
CO^2.	5,2	14,4	24,3	28,6	30,4	32,5	33,9	33,9	34,2	35,4	35,4
	A				B				C		D
Ox. du sang art.	»	»	»	»	18,7	»	»	»	18,2		0,0
CO^2.	61°,8	»	»	»	90,5	»	»	»	103,6		106,7
Temp. rectale.	38°,2	38,1	»	29,8	28,8	27,8	27	26	25	23,5	23
Respirations.. .	»	60	40	30	28	20	20	22	4	2	0
Pulsations. . .	»	120	96	66	60	44	43	48	40	36	0

Expérience DCXV. — 26 mars. θ = 14°. Chien dogue, très-vigoureux, pesant 16k.

A 11h, mis dans la trachée un large tube ; l'animal s'agite, respire avec une très-grande rapidité, puis tombe, après une série de respirations ex-

traordinaires précipitées, dans un état d'*apnée* complète qui dure une minute.

11h 25m, mis à respirer dans un sac contenant 60l d'air suroxygéné. α
Présente aussitôt une légère apnée qui dure 15 secondes; θ 37°,6.

A 11h 40m, pris 25cc de sang, très-rouge . . . . A

11h 57m, resp. amples 21 ; puls. 152 ; θ 37°,3.

12h 30m, l'animal s'est agité pendant un quart d'heure environ; pris air . . . . β

12h 35m, θ 35°,8 ; urine ; pris sang bien rouge . . . . B

12h 45m, resp. 43 ; puls. 100 ; θ 35°.

12h 50m, pression cardiaque oscille de 13c à 16c aux extrêmes.

1h, resp. 40 ; puls. 92 ; θ 33°,8.

1h 34m, resp. 38 ; puls. 88 ; θ 32°,2 ; pris air . . . . γ

1h 40m, pression cardiaque oscille de 14c à 16c.

2h 5m, resp. 36 ; puls. 72 ; θ 31°,2 ; pris sang C

On détache l'animal, dont on peut écraser le bout des doigts, couper la peau, sans provoquer le moindre signe de douleur, le moindre mouvement, le moindre changement dans le rhythme respiratoire. Cependant l'œil est sensible.

2h 30m, resp. 28 ; puls. 60; θ 30°,8 ; pris air . . . . δ

3h, resp. 24; puls. 56 ; θ 30°.

3h 15m, insensible à l'œil ; pris air . . . . ε

3h 18m, resp. 20 ; puls. 48 ; θ 29°,5; tiré 25cc de sang carotidien, très-rouge. . . . . D

3h 30m, la pression cardiaque oscille de 12 à 14c, avec des extrêmes accidentels de 11 et de 15.

4h, resp. 16; puls. 32 ; θ 28°,5; pris air . . . . η

4h 10m, pris 25cc de sang bien rouge . . . . E

4h 30m, resp. 8; puls. 28 ; θ 28°.

4h 45m, resp. 8 ; puls. 28 ; θ 28° ; pression de 8 à 10c ; pris air . . . ζ

5h 15m, l'animal vient de cesser de respirer ; on a enregistré les derniers mouvements respiratoires à l'aide du pneumographe (voy. fig. 78, p. 1009) ; θ 27°; le cœur bat encore un peu, cependant il faut tirer le sang avec la sonde. . . . . F

Pris air du sac . . . . κ

A 6h 30m, il y a encore un peu de contraction musculaire par excitation très-forte du sciatique ; rien à 7h ; durée de 1h 20m environ.

A 11h 45m et à 3h 45m, j'ai pris du sang artériel et l'ai fait bouillir avec du sulfate de soude et du charbon pour y chercher le sucre ; il n'y en avait que des traces.

Suit le tableau résumé.

	Au début	Après 1h 5m	Après 2h 9m	Après 2h 40m	Après 3h 5m	Après 3h 50m	Après 4h 35m	Après 4h 45m	Après 5h 20m	Après 5h 50m
	α	β	γ		δ	ε	η		ζ	$\varkappa$
Oxygène du sac. . .	82	66,2	51,7	»	42,5	39,0	33,0	»	32,9	31,8
CO^2.	0	15,5	29,7	»	37,3	40,3	42,1	»	45,2	45,7
	A	B		C		D		E		F
Oxygène du sang.. .	21,4	20,7	»	21,0	»	23,2	»	18,7	»	9,7
CO^2 du sang.	42,7	66,8	»	88,7	»	95,4	»	97,5	»	114,2
Température rectale.	37°,6	35°,8	32°,2	31,2	30,8	29,5	28,5	»	28	27°
Respiration.	21	45	38	36	28	20	16	»	8	0
Pulsation.	»	100	88	72	60	48	32	»	28	0
Pression cardiaque. .	»	13 à 16	14 à 16	»	»	11 à 15	»	»	8 à 10	0

Expérience DCXVI. — 28 mars. Chien pesant 11k,5.

A 2h 58m, je le mets à respirer par une muselière dans le sac où est resté l'air laissé par le chien de l'expérience précédente. Cet air contient encore 40 p. 100 d'acide carbonique.

Le chien a alors 20 resp.; 132 puls.; je viens de lui prendre à la carotide, avant l'adaptation au sac, 25cc de sang . . . . A

3h, resp. 33; puls. 108; puis tout à coup la respiration s'accélère extraordinairement, et monte à 168.

3h 3m, paraît insensible; on coupe la peau de la jambe et écrase les doigts sans aucun signe de sensibilité.

3h 5m, la pression dans la carotide oscille entre 19 et 23c; je prends 25cc de sang carotidien . . . . B

3h 6m, resp. 24, très-amples; le diaphragme n'agissant pas, le creux de l'estomac se déprime à chaque inspiration; 180 puls.

3h 12m, absolument insensible aux pattes; l'œil est sensible; les pupilles se contractent à la lumière; mais l'écrasement des doigts n'amène aucun changement ni dans l'état des pupilles, ni dans la pression du cœur.

3h 17m, resp. 22; puls. 126; pression artérielle de 15 à 20c; $\theta = 39°$.

3h 25m, resp. 24; puls. 104; θ 39°; presque insensible à l'œil.

3h 26m, j'ôte le sac, et laisse l'animal respirer à l'air libre.

3h 28m, resp. 44, amples; puls. 165.

3h 30m, redevient sensible aux pattes.

Mis à terre, ne peut se tenir debout, et présente quelques raideurs.

3h 50m, commence à se relever, essaye de marcher, mais présente un singulier mouvement de manége, en tournant sur lui-même, le derrière à terre, sur le côté gauche. La tête est tournée, l'oreille gauche baissée, la pupille gauche dilatée; nystagmus des deux yeux.

Ces phénomènes durent une dizaine de minutes en s'affaiblissant graduellement; puis le chien revient parfaitement à lui.

Le sang A (au début) contenait 19,1 d'O. et 44,8 de CO^2.
— B (insensibilité) — 18,0 d'O. et 81,2 de CO^2.
L'air du sac, après l'expérience, contenait p. 100; CO^2: 43,6; Ox.: 23,1.

Expérience DCXVII. — 22 décembre. Chienne du poids de 12k,5.

A $4^h 50^m$, on la force à respirer par une muselière dans un sac contenant un mélange de CO^2 20 p. 100, Ox. 60 p. 100, Az. 20 p. 100.

L'animal avait auparavant 20 resp., 80 puls.; la pression du cœur oscillait de 16 à 18^c; sa temp. était 38°,5. Je lui ai pris 20^{cc} de sang carotidien. . . . . A

Au début des respirations dans le sac, l'animal fait quelques grandes inspirations, puis se calme bientôt.

5^h, bien sensible partout; 44 respirations amples; la pression est de 18 à 20^c.

$5^h 30^m$; la sensibilité au pincement des pattes est un peu émoussée; respirations 36; pulsations 64; pression de 14 à 17^c.

$5^h 40^m$; je prends 20^{cc} de sang artériel. . . . . B

$5^h 48^m$; sensibilité très-obtuse, même en excitant le nerf sciatique; œil sensible.

6^h; respirations 28; pulsations 80; θ 36°

L'insensibilité fait des progrès.

6^h 30; respirations 36; pulsations 100; θ 34°,5.

Complétement insensible au pincement des pattes, des oreilles, à l'électrisation du nerf sciatique. L'œil est peut-être encore un peu sensible.

La pression artérielle oscille entre 11 et 17^c, je tire air du sac et 25^{cc} de sang artériel. C

$6^h 37^m$; je détache l'animal, j'enlève la muselière et le mets à terre. Presque aussitôt, il est pris d'une grande attaque de convulsions toniques, puis cloniques, assez analogues à celles de l'acide phénique.

Ces convulsions se calment peu à peu. 25^m après, l'animal commence à se tenir debout, mais il est faible et titubant.

$7^h 20^m$; température 35°. L'animal est plus fort et plus sensible.

Le lendemain se porte tout à fait bien.

Le sang A (air libre) contenait.	22,5 d'O	et	39,5 de CO^2
— B (commenc. d'insens.).	22,5	—	68,2 —
— C (ins. compl.: air CO^2 34,4; O 43,8)	21,6	—	77,0 —

Expérience DCXVIII. — 26 décembre. Chien : muselière de caoutchouc.

Respirations 20; pulsations 88; tension artérielle de 18 à 19^c; θ=39°,5.

A $5^h 7^m$, mis à respirer dans un sac contenant un mélange de 52,8 de CO^2; 36,7 d'oxygène et 11,5 d'azote.

Presque aussitôt est pris d'agitation avec tremblements convulsifs, qui cessent bientôt.

L'anesthésie est complète 2 à 3^m après; je prends alors 25^{cc} de sang artériel. . . . . A

$5^h 15^m$, enlevé le sac: immédiatement les respirations deviennent plus larges et plus fréquentes.

$5^h 18^m$, la sensibilité a reparu; je prends 25^{cc} de sang.. . . . . . . B

Mis à terre, l'animal titube et semble ivre; $\theta = 39^{\circ}$; mais il n'a pas de mouvements convulsifs. Il se remet tout à fait après 15 ou 20^{m}.

Le sang A	(insensibilité)	contenait	23,7 d'O	et 98,4	de CO^2.
—	B (sensib. reparue)	—	20,8	— 31,7	—

L'air du sac, à la cessation de l'expérience, contenait 52,2 de CO^2 seulement et 38,5 d'oxygène.

Expérience DCXIX. — 28 décembre. Chien.

L'animal a 48 respirations, 80 pulsations; la pression carotidienne oscille de 15^{c} à 19^{c}; la température rectale est 39°. Je prends 25^{cc} de sang artériel. . . . . A

A 3^{h} 30^{m}, mis à respirer, par une muselière, dans le sac contenant un air à 40,9 p. 100 d'acide carbonique, avec 45,6 d'oxygène.

Les inspirations deviennent plus larges; mais il n'y a pas d'agitation.

A 3^{h} 33^{m}, le pincement du nerf sciatique ne donne aucune réaction de sensibilité; la tension artérielle est de 18 à 21^{c}, il y a 44 respirations, 152 pulsations. Je prends 25^{cc} de sang artériel. . . . . B

3^{h} 35^{m}, enlevé la muselière. Surviennent presque aussitôt des agitations convulsives. La sensibilité revient à 3^{h} 40^{m}, et je prends encore 25^{cc} de sang carotidien. C

La pression est alors de 14 à 16^{c}, et la température est de 39°.

Aucun accident consécutif.

Le sang A	(air libre)	contenait	21,8 d'oxygène	et 44,6	de CO^2
—	B (ins. compl.)	—	23,2	— 78,6	—
—	C (sens. de retour)	—	22,1	— 51,5	—

Les expériences qui précèdent montrent d'abord que, dans les cas où elles se sont terminées par la mort, celle-ci est arrivée lorsque le milieu respiratoire contenait 35,4 pour 100 de CO^2 (exp. DCXIV), ou 39 (exp. DCXI), ou 45,7 (exp. DCXV). Ce sont là, comme on voit, des nombres assez différents les uns des autres.

D'autre part, des animaux ont survécu, alors que l'air qu'ils respiraient contenait déjà 34,8 pour 100 de CO^2 (exp. DCX), 37,3 (exp. DCVI) et même 38 (exp. DCXIII).

Sans insister, pour le moment, sur ces inégalités singulières, examinons ce qui arrive pour l'acide carbonique contenu dans le sang.

Dans les cas mortels, la proportion de CO^2 contenu dans 100 volumes de sang artériel s'est élevée à 106,7 (exp. DCXIV), 114,2 (exp. DCXV) et 116,6 (exp. DCXI); dans cette dernière, le sang veineux contenait 120,4 de CO^2.

Au contraire, dans les expériences où la mort n'est pas arrivée malgré la forte proportion de l'acide carbonique de l'air, il n'existait dans le sang artériel que 82,8 de CO^2 (exp. DCXIII), 87,2 (exp. DCVI) et 93,8 (exp. DCX) ; encore, dans cette dernière, l'animal mourut pendant la nuit.

C'est donc, comme on pouvait le penser *à priori*, c'est donc bien moins la tension de l'acide carbonique dans l'air extérieur que sa tension dans le sang qui détermine la mort. La première n'a, du reste, d'action qu'en déterminant la seconde.

C'est ce qui explique comment des animaux, auxquels on a fait respirer d'emblée un air suroxygéné contenant 40 pour 100 d'acide carbonique (exp. DCXVI et DCXIX), ou même 52,8 pour 100 (exp. DCXVIII), ne sont pas morts immédiatement. Il fallait, en effet, qu'ils eussent le temps d'emmagasiner dans leur sang artériel une quantité suffisante de CO^2, emmagasinement qui se faisait de deux manières différentes : 1° par l'obstacle apporté à la sortie de l'acide carbonique du sang veineux à sa traversée des poumons ; 2° par l'absorption de l'acide carbonique en excès contenu dans l'air inspiré ; cette absorption est prouvée, du reste, par l'expérience DCXVIII, où le mélange respirable, après onze minutes d'expérience, contenait moins d'acide carbonique qu'avant, et plus d'oxygène.

§ 3. — De l'accumulation de l'acide carbonique dans les tissus.

Mais la question est plus complexe encore. Ce n'est pas seulement dans le sang que doit s'emmagasiner progressivement l'acide carbonique dont la tension dans l'air respiré empêche l'excrétion régulière. L'acide carbonique du sang vient des tissus ; à l'état normal, il s'établit un certain équilibre de tension entre la proportion de ce gaz qui demeure dans ces tissus, et celle qui reste dans le sang, après l'élimination due à une respiration régulière. Si une cause quelconque maintient un excès d'acide carbonique dans le

sang, il doit en rester un excès dans les tissus. L'organisme doit donc s'imprégner tout entier de ce gaz éminemment soluble.

Pour m'éclairer sur ce point délicat, j'eus recours au procédé expérimental suivant. Un poids déterminé des tissus de l'animal en expérience était introduit, coupé en petits morceaux, dans un flacon jaugé, d'une capacité environ triple. Le flacon était alors bien rempli avec une solution assez forte de potasse ou de soude caustique; semblable solution était gardée comme témoin dans un autre flacon bien plein et bien bouché; je laissais le tout en place pendant vingt-quatre heures, non sans l'agiter assez souvent, et je supposais que, dans ce laps de temps, l'alcali s'était emparé de tout l'acide carbonique dont pouvaient être imprégnés les tissus.

Je prenais alors une certaine quantité du liquide, et le faisais pénétrer dans le récipient de la pompe à mercure, où avait été introduite préalablement, et bien épurée de ses gaz, une solution d'acide sulfurique. L'acide carbonique, aussitôt déplacé par ce dernier, était aisément extrait et recueilli, et un calcul bien simple me permettait de savoir combien 100 grammes de tissus mis en expérience contenaient d'acide carbonique.

Je ne manquais pas de soumettre au même traitement la solution d'alcali gardée comme témoin, parce qu'elle contenait toujours une certaine quantité d'acide carbonique qu'il fallait naturellement déduire.

Cette méthode très-simple, à laquelle je ne prétends pas attribuer une exactitude de décimales, me paraît devoir donner des résultats très-suffisamment voisins de la vérité; elle a l'immense avantage de ne point nécessiter d'outillage compliqué, et de permettre aisément un grand nombre d'expériences comparatives.

Expérience DCXX. — 5 mars. Chien de l'expérience DCVIII, qui est mort la veille dans une cloche remplie d'oxygène.

80^{g} de muscles, 80^{g} de foie, 70^{g} de cerveau, 35^{g} de reins sont placés dans des flacons de grandeurs appropriées, qu'on remplit ensuite avec une solution de potasse.

Le lendemain, les liquides soumis à l'analyse, comme il vient d'être dit, montrent que :

100	grammes de	muscles	contenaient	42^cc	d'acide carbonique.
100	—	cerveau	—	26^cc	—
100	—	reins	—	62^cc	—
100	—	foie	—	64^cc	—

EXPÉRIENCE DCXXI. — 21 mars. 7h : muscles du chien de l'expérience DCXIV, mort à 6h 45m; 100g sont mis dans un flacon avec 477cc d'une solution de potasse.

Le 23 mars, à 2h, l'analyse montre que ces 100g contenaient 66cc de CO^2.

Or les tissus d'un animal tué par asphyxie vraie, c'est-à-dire par privation d'oxygène sans augmentation d'acide carbonique, ne contiennent qu'une proportion beaucoup plus faible de ce gaz.

Exemple :

EXPÉRIENCE DCXXII. — 4 avril. 7h du soir. Muscles du chien de l'expérience CLXXXVIII (v. p. 672), qui est mort à 6h 45m en épuisant l'oxygène d'un sac plein d'air, en présence d'une solution de potasse.

100g sont mis avec 430cc d'une solution de potasse.

Le 5 avril, à 9h, on trouve que ces 100g ont cédé 13cc,2 de CO^2.

Alors même que les animaux sont morts simplement dans l'air confiné, sans qu'on en ait extrait l'acide carbonique au fur et à mesure de sa formation, on trouve que leurs tissus sont très-pauvres en acide carbonique. Je crois devoir rapporter ici les expériences qui prouvent cette assertion, dont je tirerai des conséquences d'un autre ordre en traitant de l'asphyxie :

EXPÉRIENCE DCXXIII. — 11 mars. Chien mort à 2h 20m dans une cloche pleine d'air à 43c de pression.

A 4h, 80g de muscles, 30g de reins sont placés dans des solutions de potasse.

13 *mars*. On trouve, par le procédé ci-dessous décrit que 100g de muscles contenaient 12cc de CO^2, 100g de reins, 35cc.

EXPÉRIENCE DCXXIV. — 5 mars. 7h. Chien, mort à 6h 15m (expérience DCXXXVIII), asphyxié dans air comprimé.

100g de muscles immergés dans 900cc de solution potassique.

6 *mars*, 10h matin. Ces 100g contenaient 22cc de CO^2.

EXPÉRIENCE DCXXV. — 7 mars 5^h 1/2. A. Chien mort à 5^h (expérience DCXXXIX) asphyxié dans l'air comprimé.

B. Chien tué la veille à 5^h par section du bulbe.

100g de muscles de chaque animal sont immergés dans 500cc de solution de potasse.

8 *mars* 5^h. On trouve que les 100g de A. contenaient 23cc de CO^2, et ceux de B 19cc.

EXPÉRIENCE DCXXVI. 10 mars 6^h. Chien mort asphyxié à 5^h 20^m (expérience DCXL).

100g de muscles mis avec 585cc de solution potassique.

11 *mars*, 5^h. Ils ont cédé 24cc,8 d'acide carbonique.

Dans d'autres expériences, où j'ai fait l'analyse du corps entier de moineaux morts dans des conditions diverses, j'ai obtenu des résultats tout à fait semblables :

EXPÉRIENCE DCXXVII. — 24 avril. Moineau mort dans la nuit à 10 atmosphères d'air.

Le lendemain, le corps entier (13gr), écorché, est placé dans la solution de potasse (110cc).

On trouve ainsi que 100g d'un pareil animal auraient dégagé 40cc d'acide carbonique.

L'expérience suivante est tout à fait remarquable sous ce rapport :

EXPÉRIENCE DCXXVIII. — 18 mars. Moineaux morts dans les conditions suivantes :

A mort à 6 atm. d'air (air mortel : O 16,6; CO^2 3,1.

B mort à 34c dans air suroxygéné (air mortel : O 12,9; CO^2 52,4).

C mort dans l'air (air mortel : O 4; CO^2 14,6).

D mort dans l'air, à 38c (air mortel : O 8,2; CO^2 11,6).

Ces moineaux sont aussitôt écorchés, j'en retranche la tête, les pattes, le bout des ailes; les corps, coupés en morceaux, pèsent de 20 à 22g. Je les place avec solutions semblables dans des flacons semblables.

Le lendemain on trouve que les corps tout entiers ont fourni, si on les rapporte à 100g.

A (mort par acide carbonique).	33cc	d'acide carbon.
B (id). — —	36cc	—
C (mort par asphyxie, à la pression normale). .	17cc	—
D (mort par privation seule d'oxyg., à 1/2 atm.).	0cc	—

Nous connaissons donc maintenant le phénomène dans son

ensemble et sa simplicité. Lorsqu'un animal respire dans un milieu confiné où l'oxygène ne lui fera pas défaut, la tension croissante de l'acide carbonique qu'il excrète maintient dans son sang artériel une proportion croissante aussi du même gaz. Un équilibre analogue s'établissant entre le sang et les tissus, où se trouve la véritable source de l'acide carbonique, ce gaz s'emmagasine graduellement dans l'organisme tout entier. De là des désordres généraux sur les symptômes desquels nous entrerons dans quelques détails tout à l'heure.

Le sang arrive, dans ces conditions, à se charger d'une quantité énorme d'acide carbonique; nous en avons trouvé jusqu'à 116,6 volumes pour 100 volumes de sang artériel et 120,4 pour 100 volumes de sang veineux. Cette dernière proportion s'approche de la saturation. Cette saturation, qui doit varier d'un sang à l'autre, est, en effet, approximativement déterminée par les expériences suivantes, assez grossières sans doute, mais qui peuvent nous servir d'indication générale suffisante pour notre sujet.

Expérience DCXXIX. — 22 février. Température du laboratoire 14°. Sang de chien défibriné.

J'en fais passer 100cc dans deux éprouvettes renversées sur le mercure, puis j'ajoute à chaque 200cc d'acide carbonique. Agitation énergique à plusieurs reprises; absorption immédiate et considérable; mousse énorme. Laissé les deux éprouvettes à la température ambiante.

Le lendemain, agité à nouveau. Procédé, 3h après, à l'analyse à l'aide de la pompe à gaz.

L'extraction et l'analyse donnent les résultats suivants (vol. gazeux rapportés comme toujours à 0°) :

L'un des sangs contenait CO^2 123cc; O. 16,6.
L'autre — — 132cc; O. 11,0.

Expérience DCXXX. — 10 mars. Sang de chien défibriné. Tempér. du laboratoire 15°. Pression 764mm.

100cc sont placés au fond de deux flacons que traverse, pendant 24 heures, un courant d'acide carbonique. L'un des flacons est plongé dans de l'eau à 41°.

On trouve ainsi que

Le sang à 15° contient 177cc,6 de CO^2.
— 40° — 138cc,4 —

Après le sang vient l'urine qui, comme l'a montré l'expérience DCX, peut arriver à contenir 106 vol. de CO^2 par 100 volumes de liquide.

Enfin les tissus se montrent à l'analyse d'autant plus riches en CO^2 qu'ils renferment plus de sang; l'expérience DCXX est tout à fait caractéristique à ce sujet; les reins et le foie, organes très-vasculaires, contenaient, pour 100 volumes, 62 et 64 volumes de CO^2; les muscles en avaient 42, le cerveau 26 seulement.

L'ensemble des expériences faites sur les muscles des chiens ou le corps entier des moineaux tend à montrer que, du corps des animaux tués par l'acide carbonique, on peut extraire environ environ 40 pour 100 de son volume de ce gaz; d'autre part, elles font penser qu'il n'y en existe guère, à l'état normal, que 10 à 15 pour 100. Ce serait donc environ 25 à 30 pour 100 du volume total de l'animal qui représenterait la quantité d'acide carbonique formé et non exhalé pendant le séjour de l'animal en vases clos. Or, l'expérience DCVIII nous montre précisément qu'un chien pesant $3^k,950$ a fait disparaître du milieu suroxygéné où il est mort environ 1300^{cc} d'oxygène, qui ont dû se tranformer en acide carbonique, et rester dans son sang et ses tissus.

Ces résultats, on le voit, concordent assez bien, mais il ne faudrait pas leur attribuer une précision extrême : du tiers à la moitié du volume du corps, telle paraît être la quantité d'acide carbonique que retient dans ses tissus un animal avant de périr par l'action même de ce gaz.

Ceci explique comment, ainsi que je l'ai vu dans des expériences de début dont il serait oiseux de reproduire ici les détails, si l'on donne à respirer à un chien de l'oxygène contenu dans un sac de petites dimensions, l'animal absorbe tout le gaz du sac et périt ensuite par simple privation d'air. Tout l'oxygène du sac est resté dans les tissus sous forme d'acide carbonique.

§ 4. — Symptômes et mécanisme de l'empoisonnement par l'acide carbonique.

Ce point important bien établi, nous devons étudier les symptômes et le mécanisme de cet empoisonnement par imbibition graduelle d'acide carbonique dans tous les tissus.

Envisageons d'abord la marche progressive de l'altération de l'air suroxygéné dans lequel respire l'animal. Les graphiques de la figure 75, qui expriment les résultats de l'expérience DCXV, nous montrent de la manière la plus nette comment les choses se passent.

Sur l'axe horizontal sont marqués, en heures, les temps écoulés depuis le début de l'expérience; sur l'axe vertical, la proportion centésimale des gaz contenus dans le sac.

On voit de la manière la plus nette que la consommation d'oxygène et la production d'acide carbonique ne sont pas proportionnelles aux temps écoulés. Plus l'expérience dure, plus la valeur de ces phénomènes diminue. L'entre-croisement des graphiques avec les lignes coordonnées montre qu'il y a eu, en proportions centésimales :

Dans la 1re heure	15,8	d'oxygène consommé,	et	15,5 de CO^2	excrété
— 2e —	14,5	—		14,2	—
— 3e —	9,2	—		7,6	—
— 4e —	4,5	—		4,0	—
— 5e —	4,0	—		2,7	—
Dans les 50 dern. min.	2,2	—		1,7	—
Au total, en 5^h 50^m	50,2	—		45,7	—

L'expérience DCXIV donne des résultats semblables : il y a eu, en effet :

Dans la 1re heure	11,9	d'oxygène consommé,	et	9,2 de CO^2	excrété
— 2e —	9,0	—		8,8	—
— 3e —	5,9	—		4,6	—
— 4e —	5,2	—		3,3	—
— 5e —	3,7	—		2,8	—
— 6e —	0,8	—		0,4	—
— 7e —	1,5	—		1,1	—
Au total, en 7^h	37,0	—		30,2	—

Ainsi la consommation d'O va en diminuant : ainsi, malgré la forte proportion d'O que contient le sang artériel, les phénomènes chimiques d'oxydation se ralentissent. Il n'est donc pas étonnant de voir que la température de l'animal s'abaisse progressivement jusqu'à atteindre au moment de

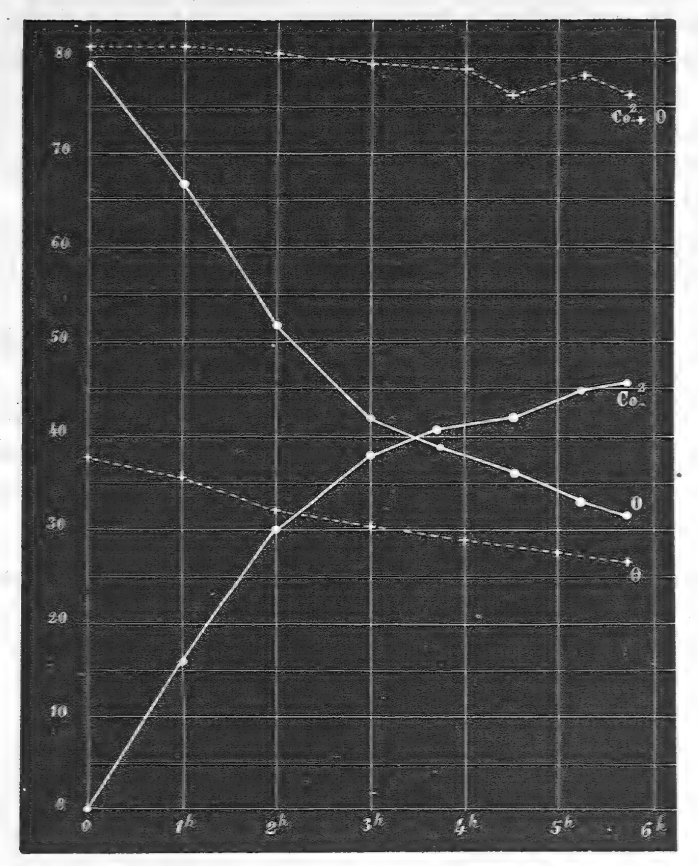


Fig. 75. — Mort par l'acide carbonique; altérations de l'air du sac (Exp. DCXV).

la mort des valeurs de 27°,8 (exp. DCXI), 27° (exp. DCXV, ligne θ de la fig. 75), et même 23° (exp. DCXIV). Je signale à ce propos l'expérience DCX où la température était descendue de 39° à 25°, et où cependant l'animal, remis à l'air libre, a survécu sans accidents. Je reviendrai plus loin sur

l'importance de cet abaissement de la température, consécutif à la diminution des combustions internes.

Examinons maintenant les gaz du sang aux divers moments des expériences. Prenons encore par exemple l'expér. DCXV, la plus complète que nous ayons faite. Le tableau de la page 994 et les tracés O et CO^2 de la figure 76[1] expriment nettement ces résultats.

On voit, tout d'abord, que malgré la proportion croissante de l'acide carbonique, et dans l'air respiré et dans le sang, la proportion d'O n'a pas été notablement modifiée pendant les quatre premières heures de l'expérience; c'est seulement alors qu'elle s'est abaissée progressivement, sans cependant qu'on puisse lui attribuer la mort, puisqu'aux derniers battements du cœur, alors que la respiration avait cessé, il restait encore 9,7 volumes d'O dans 100 volumes de sang artériel.

Quant à l'acide carbonique, j'ai déjà signalé la proportion énorme qu'il atteignait au moment de la mort. Mais la marche de son emmagasinement dans le sang artériel n'est pas régulièrement progressive. On tire du tableau de la page 994 et du tracé CO^2, les chiffres suivants :

Dans la 1[re]	heure, le sang a acquis		20,0,	vol. de CO^2
—	2e	—	16,8	—
—	3e	—	11,0	—
—	4e	—	5,0	—
—	5e	—	5,5	—
Dans les 50 dernières minutes			13,2	—

Ainsi, sauf pendant la dernière heure, la richesse du sang en acide carbonique croissait de moins en moins vite, tandis que l'animal s'empoisonnait. Et cela se comprend, puisque nous avons vu que l'absorption d'O se ralentissait de même, en telle sorte que la production d'acide carbonique dans les tissus était de moins en moins active et son déversement dans le sang de moins en moins considérable.

Mais dans la dernière heure, tout à coup, le sang acquiert

[1] Dans ces tracés, ainsi que dans ceux de la figure 75, le volume du gaz n'a pas été réduit à 0°.

une quantité considérable de CO^2 (voy. fig. 76, tracé CO^2). Un coup d'œil jeté sur les tracés P et R de la même figure, qui expriment le nombre des pulsations et des respirations, explique parfaitement ce fait singulier ; à ce moment, en effet,

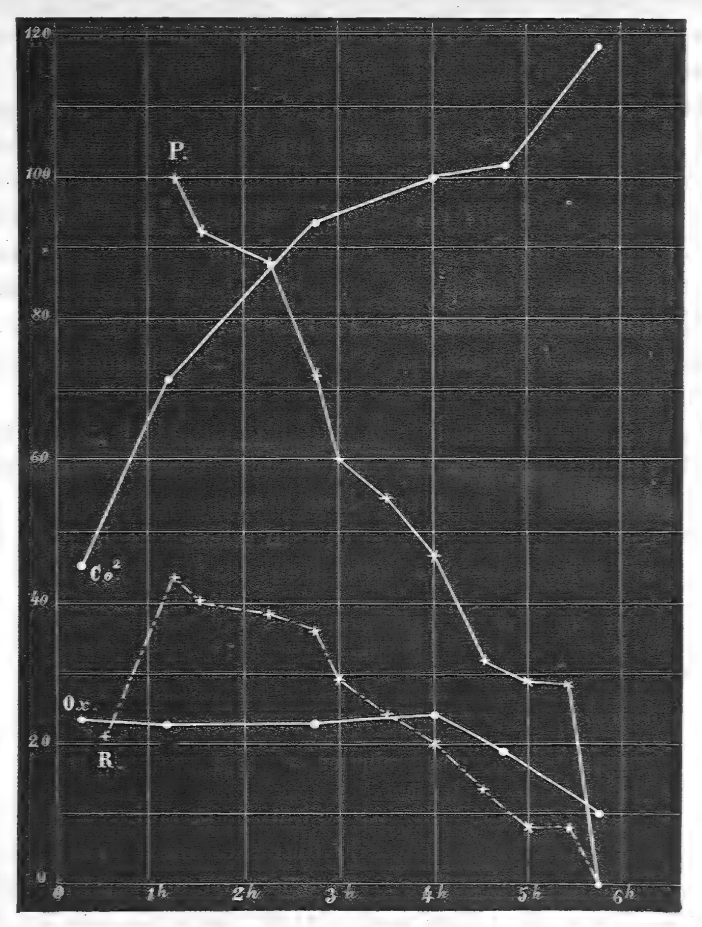


Fig. 76. — Mort par l'acide carbonique; modifications dans la composition des gaz du sang, la respiration et la circulation (Exp. DCXV).

le cœur ralentit considérablement ses battements, les mouvements respiratoires, réduits à 10, à 8 par minute, ont cessé depuis un instant : le sang doit perdre moins de CO^2 à la traversée des poumons, et en acquérir davantage à la tra-

versée des tissus. De plus, l'oxygène du sang s'est consommé sur place et a dû fournir une certaine quantité d'acide carbonique.

L'enrichissement du sang en acide carbonique ayant pour cause la tension croissante de ce gaz dans l'air confiné où respirait l'animal, il était intéressant de déterminer le rapport entre ces deux valeurs variables. On y arrive aisément en comparant les tracés CO^2 (qui ont mêmes coordonnées) des deux figures 75 et 76, qui expriment les deux lignes CO^2 du sac et CO^2 du sang du tableau résumé de l'expérience DCXV (p. 994).

On trouve ainsi d'abord que, au moment où l'air du sac contenait 10 pour 100 de CO^2, 100cc de sang artériel contenaient 55 volumes du même gaz, et l'on est conduit, par de semblables rapprochements, à dresser le tableau suivant :

Avec	0 de CO^2	dans l'air, il y en avait	40	dans le sang.		
—	10	—	55	—	differ.	15
—	20	—	70	—		15
—	30	—	82	—		12
—	40	—	95	—		13
—	45	—	114	—		19

On voit qu'à des augmentations égales dans l'air respirable correspondent des augmentations assez peu différentes les unes des autres dans le sang artériel ; ce résultat est conforme aux lois de la physique. Mais il ne faudrait pas lui attribuer une valeur d'exactitude trop absolue, pour cette raison que les changements importants dans le rhythme respiratoire peuvent modifier considérablement la quantité d'acide carbonique contenue dans le sang artériel.

Laissons-là maintenant ces constatations d'ordre chimique, et envisageons les modifications présentées par les diverses fonctions.

Le nombre des battements du cœur diminue progressivement ; les tableaux des pages 992 et 994 le montrent nettement, et le tracé P de la figure 76 plus nettement encore, du moins pour l'expérience DCXV. Si l'on dresse, avec les résultats de cette expérience, des graphiques en prenant pour

abscisses, non plus les temps écoulés depuis le début de l'expérience, comme dans la figure 76, mais la quantité d'acide carbonique contenue dans le sang (fig. 77), on voit que cette diminution dans le nombre des battements suit

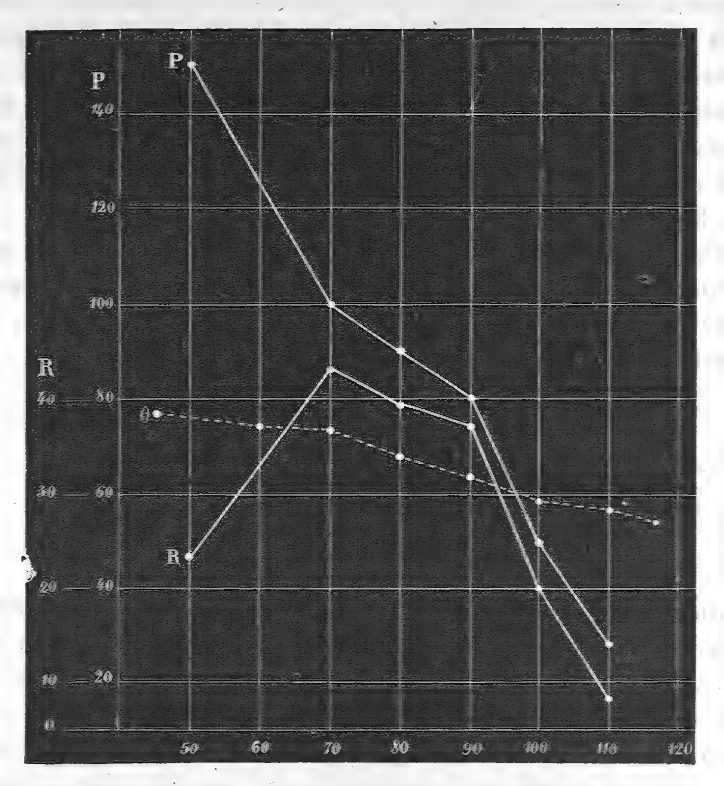


Fig. 77. — Mort par l'acide carbonique ; rapport de la respiration et de la circulation avec la richesse en CO^2 du sang (Exp. DCXV).

assez régulièrement la marche croissante de l'acide carbonique du sang.

Le récit détaillé des diverses expériences montre que les battements du cœur persistent après qu'ont cessé les mouvements respiratoires : dans l'expérience DCVI, le cœur a continué ainsi de battre pendant dix minutes environ.

D'autre part, on voit que la pression du sang dans les artères n'est que très-lentement modifiée par l'accumulation de

l'acide carbonique dans le sang et les tissus. Au début même elle semble un peu augmentée (exp. DCXV et DCXVI); mais elle est encore de 12 à 14[c] à un moment où il y a plus de 90 volumes d'acide carbonique dans le sang (exp. DCXIV), et de 11 à 15 alors qu'il y en a 95 (exp. DCXV), et même de 8 à 10 alors qu'il n'y a plus que huit respirations à la minute, que la température est tombée à 28°, et que le sang artériel contient plus de son propre volume d'acide carbonique (expér. DCXV).

Ainsi, dans l'empoisonnement progressif par l'acide carbonique, le cœur est l'*ultimum moriens*, et ses battements sont le dernier signe de vie qu'on puisse constater chez l'animal mourant.

Le nombre des mouvements respiratoires diminue également; au début de l'expérience, il augmente souvent, mais quand l'acide carbonique du sang arrive à une proportion

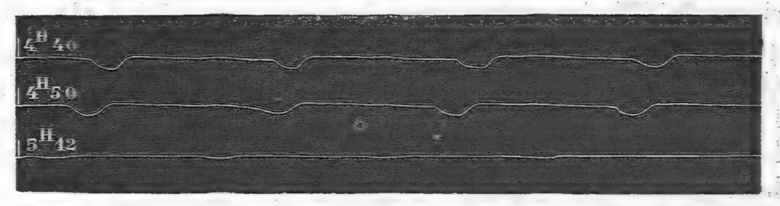


Fig. 78. — Mort par l'acide carbonique; derniers mouvements respiratoires (Exp. DCXV).

qui dépasse 90 volumes, le ralentissement prend une intensité considérable. Ces phénomènes sont, pour l'expérience DCXV, faciles à étudier sur le tableau de la page 994 et sur les tracés R des fig. 76 et 77. Dans l'expérience DCXIV, pendant la dernière heure de la vie, il n'y avait que deux à quatre respirations par minute; à la fin même, on n'en comptait qu'une toutes les deux ou trois minutes, et dans l'expérience DCVI, une toutes les trois ou quatre minutes. A la fin, leur amplitude diminuait comme leur nombre, et le tracé de la figure 78 qui a été recueilli à l'aide du pneumographe (expér. DCXV), montre que la cessation des mouvements respiratoires a lieu sans dernier soupir : ceci seul, comme je

l'ai établi ailleurs[1], indique que l'acide carbonique n'est pas un poison du cœur.

Pendant toute la durée de cet empoisonnement progressif, les animaux restent parfaitement calmes. A peine, au début, quelques révoltes, qui bientôt s'apaisent. Si, lorsque le sang artériel contient 60 ou 70 volumes de CO^2, on détache l'animal, il ne fait aucun effort pour s'échapper. Plus tard, il devient insensible aux excitations, aux pincements, à l'électrisation même des nerfs de sensibilité : enfin l'œil lui-même devient insensible.

Cette curieuse anesthésie mérite de nous arrêter quelques instants.

Disons d'abord que l'insensibilité au pincement survient longtemps avant que l'animal soit menacé de mort. Dans l'expérience DCVI, l'œil était insensible deux heures avant la mort, alors qu'il y avait encore 10 respirations, 64 pulsations, la température étant tombée à 30 degrés ; dans l'expérience DCXIV, les pattes sont devenues insensibles plus de quatre heures avant la mort, et l'œil deux heures (respirations 20 ; pulsations 43, θ 27°) ; enfin dans l'expérience DCXV, l'insensibilité absolue des pattes a été constatée plus de trois heures avant la mort, et l'œil est devenu insensible deux heures avant (resp. 20 ; puls. 48 ; θ 29°,5).

Cette insensibilité est très-complète ; l'excitation du nerf sciatique par le pincement ou les courants électriques ne détermine aucun mouvement général, aucun changement dans le rhythme respiratoire (exp. DCXV), dans la pression du cœur ou l'état des pupilles (exp. DCXVI), alors même que celles-ci se contractent encore sous l'influence directe de la lumière. L'œil, comme je viens de le dire, conserve pendant bien longtemps encore sa sensibilité, qui disparaît en dernier lieu à la conjonctive (exp. DCXIII).

Or, lorsque l'œil est devenu absolument insensible, l'animal n'est nullement en danger. Si l'on cesse de le faire respirer dans ce milieu altéré et qu'on le ramène à l'air, il re-

[1] *Leçons sur la respiration*, p. 431.

vient toujours à la vie (exp. DCXII, DCXIII, DCXVI, DCXVII, DCXVIII, DCXIX), après avoir présenté le plus souvent des phénomènes singuliers sur lesquels j'appellerai tout à l'heure l'attention.

Si nous cherchons avec quelle proportion d'acide carbonique dans l'air et le sang artériel est survenue l'insensibilité soit des pattes, soit de l'œil, voici ce que nous trouvons en moyenne : l'insensibilité des pattes est arrivée quand l'air contenait environ 28 pour 100 d'acide carbonique, et celle de l'œil quand la proportion s'élevait à 35 ; pour le sang, les limites extrêmes sont beaucoup plus étendues, puisqu'elles oscillent de 72,3 (exp. DCXII) à 95,4 (exp. DCXV).

Cette anesthésie si complète des membres, alors que l'œil est encore sensible, que le cœur bat encore fréquemment et avec force, et que l'animal est encore si loin d'un danger sérieux, devait nécessairement éveiller l'idée d'une application chirurgicale possible.

Mais une première difficulté se présentait. Dans les expériences que je viens de rapporter, l'animal forme lui-même l'acide carbonique qu'il emmagasine dans son sang et ses tissus; ceci demande un temps très-long. Dans l'expérience DCXIII, ce n'est qu'après deux heures qu'a été constatée l'insensibilité des pattes; il a fallu pour ce résultat plus de trois heures dans les expériences DCXIV et DCXV. Rien ne serait moins pratique que cette longue préparation, qui serait un long supplice. D'autre part, et ceci est plus important encore à un autre point de vue, dans ces longues expériences la température est abaissée de plusieurs degrés au moment où survient l'insensibilité des pattes, et ceci pourrait avoir des conséquences graves chez les opérés.

Je me suis donc demandé si je pourrais obtenir des résultats analogues aux précédents en faisant respirer d'emblée aux animaux un mélange plus ou moins riche d'acide carbonique et d'oxygène. C'est ce que j'ai fait dans les expériences DCXVI, DCXVII, DCXVIII, DCXIX.

Lorsque le mélange à respirer contenait 20 pour 100 d'acide carbonique (exp. DCXVII), l'insensibilité n'est survenue

qu'après 1h 1/2, la température s'étant abaissée de 4°, les respirations étant au nombre de 36, et les pulsations de 100 ; le sang artériel contenait alors 77 vol. de CO^2. Mais avec 40 pour 100 de CO^2 (exp. DCXVI, DCXIX), l'insensibilité est survenue après 3 ou 5m, sans que, bien entendu, la température ait changé, et le cœur ayant une force singulière (19 à 23c, exp. DCXVI ; 18 à 20c, exp. DCXIX) plus grande qu'à l'état normal : le sang artériel contenait 78,6 vol. (exp. DCXIX) ou 81,2 vol. (exp. DCXVI) d'acide carbonique.

Enfin, avec un mélange contenant 52,8 pour 100 de CO^2, l'insensibilité a été presque instantanée, et le sang artériel se trouvait chargé de 98,4 vol. de CO^2 (exp. DCXVIII).

Ces derniers résultats montrent que l'emploi chirurgical de l'acide carbonique, dans une proportion d'environ 40 pour 100, le reste du gaz étant de l'oxygène à peu près pur, pourrait donner de bons résultats, et ne compromettrait nullement la tension artérielle, comme le font les carbures et les chloro-carbures d'hydrogène.

Mais il ne faudrait pas dépasser beaucoup cette proportion d'acide carbonique dans le milieu respirable. J'ai montré, dès 1864 [1], que si l'on place deux rats nouveau-nés, l'un dans l'acide carbonique, l'autre dans l'azote, le cœur de ce dernier continue à battre pendant plus d'un quart d'heure, tandis que celui du premier est arrêté en 2 ou 3m. Mais ces conditions sont toutes différentes de celles de mes expériences actuelles. Il s'agit ici d'acide carbonique lentement formé par l'organisme lui-même, et non d'un flot d'acide arrivant tout à coup au sang du cœur gauche.

Il reste un dernier point à étudier. Lorsque l'animal est ramené à l'air libre, alors même que son sang et ses tissus se sont chargés d'une énorme proportion d'acide carbonique, il revient à la vie. C'est ainsi que j'ai vu survivre les chiens des expériences DCVI, DCXII, DCXIII, dont le sang artériel contenait 73,3, 82,8 et 87,2 vol. de CO^2, dont la température s'était abaissée jusqu'à 25° (exp. DCXII).

[1] *Bull. de la Société philomatique*, 1864, p. 13.

Ils se remettent graduellement; leur respiration s'accélère, ainsi que les battements du cœur; leur température se relève, les forces reviennent avec la sensibilité qui reparaît en 10 ou 15m.

Mais constamment apparaissent à ce moment des troubles nerveux fort curieux; ce sont des raideurs avec quelques convulsions cloniques, ou encore des mouvements lents et engourdis, comme ceux d'un animal hibernant que l'on réchauffe et qui se réveille. Cela dure quelques minutes, pendant la phase même où persiste encore l'insensibilité.

On pourrait penser que ces phénomènes sont dus en partie au refroidissement considérable des animaux en expérience. Il n'en est rien, car dans les expériences DCXVI et DCXIX, où l'insensibilité a été obtenue d'emblée par la respiration d'un air surcarboniqué, et où il n'y a pas eu de refroidissement, les mêmes accidents se sont manifestés.

Ils sont donc bien corrélatifs à l'élimination de l'acide carbonique en excès; le retour à son état normal de la moelle épinière anesthésiée se manifeste par des excitations incohérentes qui déterminent pendant quelques minutes des accidents convulsifs.

On sait que, selon M. Brown-Séquard, l'acide carbonique serait un poison convulsivant; les accidents violents qui marquent la fin des asphyxies et des hémorrhagies rapides s'expliqueraient selon lui par l'action de l'acide carbonique s'accumulant dans les tissus. J'avais, il y a longtemps, répondu à cette doctrine qui, je l'espère, ne reviendra plus en discussion aujourd'hui. Mais voici que, par une coïncidence singulière, ces convulsions, qu'on accusait l'acide carbonique de produire, sont précisément le fait de son élimination.

Je ne crois pas que ces accidents convulsifs du retour à la sensibilité constituent un obstacle sérieux à l'application de l'acide carbonique à la chirurgie. Ils sont à coup sûr beaucoup moins effrayants que les violentes agitations qui signalent si souvent le début de l'action du chloroforme, et qu'on désigne à tort sous le nom de *période d'excitation*. On pour-

rait du reste très-probablement les éviter en modérant la rapidité de l'élimination de l'acide carbonique.

Mais, tout en appelant sur cet anesthésique, auquel on a déjà pensé, mais qu'on n'a jamais étudié avec un soin suffisant, l'attention des chirurgiens, je suis loin de croire que les études qui précèdent soient assez précises et assez détaillées pour autoriser une application immédiate : autre chose est une table d'expérience où l'on attache un chien, autre chose le lit d'un malade.

En cherchant à me faire une idée précise sur l'action intime de l'acide carbonique, j'en arrive aux considérations suivantes :

L'excrétion de l'acide carbonique qui se forme incessamment dans la profondeur des tissus est une condition nécessaire de l'accomplissement, de la continuation des échanges nutritifs qui lui donnent naissance. Ici, comme dans tant d'autres phénomènes chimiques, il faut que le produit de la réaction soit incessamment éliminé pour que cette réaction conserve son maximum d'activité. Lors donc que, par la respiration en vases clos, dans les conditions ci-dessus indiquées, l'acide carbonique s'emmagasine dans les tissus, il y ralentit toutes les oxydations, comme le prouve la température qui s'abaisse rapidement. Quant au système nerveux, s'il paraît atteint le premier, c'est qu'il est le premier à manifester les actions générales qui troublent tout l'organisme; c'est la moelle qui cesse ses fonctions réflexes de sensibilité, d'excitation respiratoire, comme c'est elle qui traduit la première les désordres organiques qui surviennent lorsqu'on saigne, qu'on désoxygène, qu'on suroxygène, qu'on refroidit, qu'on surchauffe un animal.

Mais lorsque l'acide carbonique est artificiellement apporté du dehors, et qu'on le fait respirer dans un mélange gazeux, ce n'est pas l'organisme tout entier qui est atteint comme dans le premier cas. L'acide carbonique, absorbé à la traversée des poumons par le sang artériel, est par lui projeté aussitôt au centre nerveux, dont les échanges nutritifs se trouvent ainsi subitement troublés, ralentis, altérés : de là,

l'anesthésie. Enfin, quand la proportion est assez forte dans le mélange respiratoire, les ganglions cardiaques eux-mêmes sont immédiatement attaqués dans leur nutrition, et le cœur s'arrête, paralysé.

§ 5. — Action de l'acide carbonique sur les êtres vivants inférieurs.

La généralisation d'action du gaz acide carbonique sur tous les tissus se manifeste d'une manière bien évidente quand en met en expéricnce des animaux inférieurs. Il y a bien longtemps, par exemple, que j'ai montré dans mes cours que les grenouilles ou les mammifères nouveau-nés périssent plus vite dans l'acide carbonique que dans l'oxyde de carbone. Et cela se comprend, disais-je : l'oxyde de carbone agit à la façon d'une simple hémorrhagie, ou d'une asphyxie dans Az, en supprimant l'oxygène du sang, tandis que CO^2 empoisonne les tissus eux-mêmes. Seulement, si on arrête l'expérience avant que les animaux soient tout à fait morts, la grenouille de CO^2 se remet assez vite, celle de CO meurt au contraire, étant définitivement privée de ses globules sanguins.

Il m'a paru intéressant de chercher à déterminer la proportion d'acide carbonique dissous dans l'eau, qui serait incompatible avec la vie des poissons. Voici les détails d'une expérience :

Expérience DCXXXI. — 22 mai. A $12^h 15^m$. Des cyprins dorés de même taille sont immergés dans des flacons bouchés, pleins d'une eau bien aérée à laquelle on a ajouté des proportions croissantes d'eau saturée d'acide carbonique, en telle sorte que

A contenait l'eau pure (qui tient en dissolution 4,4 vol. de CO^2 par 100 vol. de liquide).

B contenait de l'eau à 11 p. 100 de CO^2.

C — de l'eau à 18 pour 100.

D — de l'eau à 30 pour 100.

E — de l'eau à 45 pour 100.

Dès $12^h 35^m$, le poisson E respirait très-faiblement, tandis que B respirait plus fort que A.

$12^h 45^m$. E est sur le flanc, très-malade; D est évidemment malade aussi.

1h 5m. E est mort ; D, fort malade ; C et B respirent avec difficulté ; D meurt vers 10h du soir.

Le surlendemain, A, B, C, sont encore vivants.

La proportion rapidement mortelle de CO^2 libre, est donc aux environs de 30 pour 100. Cela est bien supérieur aux quantités qui existent dans toutes les eaux non chargées de principes salins.

L'acide carbonique manifeste son action non-seulement chez les animaux, mais chez les végétaux.

Dans un milieu très-chargé en CO^2, les végétaux verts périssent rapidement, lorsqu'on empêche la lumière de leur permettre de décomposer rapidement le gaz redoutable[1].

La germination y est ralentie, arrêtée, quand la proportion du gaz est suffisante ; les graines mêmes peuvent y être tuées. Je cite à titre d'exemple de ces faits les deux expériences suivantes :

Expérience DCXXXII. — 8 avril. Semé, sous une vaste cloche de 11l, quelques grains d'orge et de cresson sur papier bien mouillé. La cloche est remplie d'un mélange contenant : O, 16 ; CO^2, 20 ; Az, 64.

Le 2 *mai*, rien ne s'est développé ; l'air de la cloche contient : O, 12,9 ; CO^2, 29.

Je laisse les grains à l'air libre ; dès le 7 mai, on voit apparaître quelques pousses, et le 20 mai tout a bien poussé ; l'orge mesure déjà 12c.

Expérience DCXXXIII. — 30 mars. A. 20 grains d'orge sont semés sur papier mouillé, sous une cloche de 11l contenant 50 pour 100 d'acide carbonique, et 50 d'air ordinaire.

B Comme témoins, d'autres grains sont semés sous une cloche de 2l,5 pleine d'air ordinaire.

3 *avril.* Germination nette à B.

9 *avril.* — Les pousses de B ont 3 à 4c ; rien à A. Sur les grains de B ont poussé d'abondantes moisissures ; il n'y a rien à A.

22 *avril.* — Il y a à B de belles pousses, et l'air y contient CO^2 4,4 ; O 13,6. Rien n'a poussé à A, dont l'air contient encore 9,3 d'oxygène.

A, laissé à l'air libre, ne pousse pas.

Ainsi, avec 20 à 30 pour 100 d'acide carbonique, il y a seule-

[1] Voir le récent travail de J. Boehm, *Ueber den Einfluss der Kohlensaüre auf das Ergrünen und Wachsthum der Pflanzen.* (Zitzb. der k. Akad. der Wissensch., LXVIII Bd. Wien, 1873.)

ment suspension de la germination ; mais avec 50 pour 100, les graines sont tuées. Et ce qui est vrai des grains d'orge est vrai des moisissures, comme on le voit dans l'expérience même qui vient d'être rapportée.

Il n'est donc pas étonnant de voir que la putréfaction elle-même soit ralentie singulièrement et même arrêtée dans une atmosphère chargée d'acide carbonique.

C'est ce qui est arrivé dans les expériences suivantes :

Expérience DCXXXIV. — 14 décembre. Fragments de muscles placés dans cloches remplies :

A, d'air ;

B, d'acide carbonique presque pur.

8 *janvier*. — A est infect, en pleine pourriture, couverte de moisissures ; B n'a aucune odeur et on n'y voit aucune moisissure.

Expérience DCXXXV. — 14 janvier. Fragments de muscles placés dans cloches remplies :

A, d'air.

B, d'un mélange (O, 14,4 ; Az, 54,6 ; CO^2, 31 pour 100).

17 *janvier*. — L'air de A ne contient plus que 18,1 d'oxygène, avec 3 de CO^2 ; il sent mauvais.

L'air de B n'a pas changé de composition et n'a aucune odeur.

Expérience DCXXXVI. — 29 juillet. Une lame mince de viande de bœuf pesant 100^g, est suspendue dans l'appareil en verre, sous une pression de 6 atmosphères, dont 5 d'acide carbonique.

10 *août*. — Décompression.

La viande ne sent aucune odeur ; elle est de couleur un peu terne.

Je la fais cuire ; elle n'a ni odeur ni goût putride ; mais sa saveur est désagréable, fade, douceâtre, *ressemblant à celle de la viande conservée dans l'oxygène comprimé.*

Enfin la contractilité musculaire est rapidement détruite par l'acide carbonique, et très-probablement il en serait de même pour les autres propriétés vitales :

Expérience DCXXXVII. — 4 juin. Deux pattes d'une même grenouille sont suspendues chacune au haut d'une éprouvette :

A dans air ;

B dans acide carbonique presque pur.

5 *juin*. — A, nerf non excitable ; muscle très-contractile ;

B, plus de contractilité musculaire.

§ 6. — **Résumé et conclusions.**

Nous voici arrivés au terme de cette longue étude. Elle se résume dans les propositions suivantes :

A. Quand un animal respire en vase clos, soit dans l'air comprimé, soit dans un air suroxygéné, à la pression normale, en telle sorte que l'oxygène ne lui fasse jamais défaut, la tension croissante du CO^2 dans l'air maintient une proportion croissante du même gaz dans le sang, si bien que l'acide carbonique produit dans la profondeur des tissus reste dans ces tissus.

B. Il résulte de cette accumulation un ralentissement pregressif des oxydations intra-organiques, d'où, comme conséquence, un abaissement considérable de la température du corps.

C. Le système nerveux central, dans cette action générale sur l'organisme, manifeste le premier qu'il est atteint, par la perte des transmissions réflexes, d'abord aux membres, puis à l'œil, puis enfin au centre respiratoire, d'où résulte la mort.

D. Aucune agitation, aucun mouvement convulsif ne précèdent la mort.

Le cœur, tout en ralentissant ses battements, conserve très-longtemps toute sa force, et demeure l'*ultimum moriens*.

Ces deux faits ruinent définitivement les théories qui faisaient de l'acide carbonique l'une un poison convulsivant, l'autre un poison du cœur.

E. L'anesthésie produite par l'acide carbonique paraît mériter d'attirer de nouveau l'attention des chirurgiens ; elle est complète à un moment où il s'en faut de beaucoup que la vie de l'animal soit en danger.

F. La vie végétale, la germination, le développement des moisissures, la putréfaction, sont ralentis, suspendus, arrêtés définitivement par l'acide carbonique sous une tension suffisante.

G. Ainsi, l'acide carbonique est un poison universel, qui

tue animaux et végétaux, de grande taille ou microscopiques; qui tue les éléments anatomiques isolés ou groupés en tissus. Et tout cela n'a rien d'étonnant, puisqu'il est le produit d'excrétion universelle de toutes les cellules vivantes; sa présence empêche l'excrétion, et arrête par conséquent, en y opposant un obstacle terminal, toute la série des transformations chimiques constituantes de la vie, qui commencent par l'absorption d'oxygène, et finissent par le rejet de l'acide carbonique.

SOUS-CHAPITRE II

ASPHYXIE.

Les recherches dont j'ai rendu compte dans les chapitres précédents m'ont tout naturellement conduit à m'occuper de l'asphyxie en vases clos, dans l'air ordinaire, à la pression normale. Ici, au moment de la mort, tension très-faible de l'oxygène, tension assez forte de CO^2; à laquelle des deux influences est due la mort? Toutes deux interviennent-elles?

J'ai déjà traité cette question dans mes *Leçons sur la respiration* (p. 525), et, me basant exclusivement sur la composition chimique de l'air mortel, j'étais arrivé aux conclusions suivantes :

A. Pour les animaux à sang chaud, la mort a lieu par privation d'oxygène ;

B. Pour les animaux à sang froid, par empoisonnement par l'acide carbonique.

J'ai été amené à envisager cette question à un autre point de vue, en considérant les modifications subies par les gaz du sang, et en les comparant d'une part avec celles qui sont rapportées au chapitre II, sous-chapitre IV, et d'autre part, avec celles qui sont la conséquence de l'empoisonnement par l'acide carbonique.

Les expériences ont été faites par la même méthode que dans les chapitres cités : respiration à l'aide d'une muselière hermétiquement close, ou par la trachée, dans un sac contenant une certaine quantité d'air.

Suit le récit de quelques expériences

EXPÉRIENCE DCXXXVIII. — 5 mars. Chien épagneul pesant 12 kilogrammes.

5h 35m. Tiré par la carotide 40cc de sang . . . . A

5h 37m. Mis à respirer, par une muselière, dans un sac de caoutchouc contenant environ 20l d'air.

5h 52m. L'animal, qui s'est beaucoup agité, et qui a perdu de l'air par les côtés de la muselière, est fort malade.

Pris air du sac . . . . β

5h 55m. Tiré 33cc de sang carotidien très-noir . . . . B

6h 15m. L'animal meurt, sans convulsions ni raideurs. Je tire avec difficulté du sang qui commence à se coaguler dans le cœur gauche. . . . C

Air du sac . . . . γ

Sang A (à l'air libre) contenait . . .	15,9	d'O	et	44,8	de CO^2.
— B (air β : O 4,8 ; CO^2 12,1). . .	2,4	—		44,5	—
— C (air mortel γ : O 3 ; CO^2 15,8).	0,8	—		39,9	—

EXPÉRIENCE DCXXXIX. — 7 mars. Chien épagneul pesant 13 kilogrammes. Je mets à découvert la carotide et la trachée.

3h. Respirations, 45 ; pulsations, 90 ; température rectale 38°,5.

3h 5m. Tiré 33cc de sang carotidien, médiocrement rouge. . . . . . A

3h 15m. Placé un tube dans la trachée.

Les respirations deviennent extraordinairement rapides.

3h 20m. Respirations, 124 ; θ 38°,5 ; tiré 33cc de sang carotidien, plus rouge que A . . . . B

3h 22m. Mis la trachée en communication avec un sac de caoutchouc contenant 60l d'air.

Beaucoup d'agitation ; respirations très-fréquentes.

3h 43m. $\theta = 38°$.

4h. Respirations, 84 ; pulsations, 96 ; pris air et 33cc de sang, moins rouge que A C

4h 5m. Respirations très-amples, 56 par minute ; pulsations, 96.

4h 15m. $\theta = 36°,5$.

4h 35m. Respirations, 28 ; pulsations, 52, très-irrégulières.

$\theta = 36°$. Air du sac . . . . β

Cornée sensible ; tiré 25cc de sang très-noir . . . . D

4h 40m. Cornée insensible ; pupilles dilatées ; respirations, 16 ; pulsations trop faibles pour être senties ; $\theta = 35°,5$.

Les respirations se ralentissent de plus en plus, et la dernière a lieu à 4h 46m ; il n'y a aucune convulsion.

4h 48m. Le cœur pousse encore un peu de sang dans la carotide, et avec une sonde j'arrive à extraire 40cc de sang très-noir du cœur gauche . . E

Puis je prends air du sac. . . . . γ

4h 55m. Je recueille sous l'eau les gaz du poumon . . . . δ

L'urine, traitée dans la pompe par l'acide sulfurique, donne environ 15 vol. pour 100 de CO^2.

Sang A (air libre, respirations par voie naturelle). .	O	19,8;	CO^2	40,1
— B (— — très-rapides, par la trachée).	—	21,5	—	18,3
— C (air α : O 9,3 ; CO^2 7,0)	—	14,4	—	32,0
— D (air β : O 1,8; CO^2 12,0).	—	2,1	—	54,3
— E (air mortel γ : O 1,5; CO^2 12,6).	—	1,2	—	42,5

L'air des poumons δ contenait : O 0; CO^2 14,6.

Expérience DCXL. — 10 mars. Chien braque, pesant 16 kilogrammes. Température rectale 39°,5.

3h 15m. Placé un tube dans la trachée; respire avec calme.

3h 20m. Mis à respirer dans le sac, qui contient 137l d'air.

3h 23m. Respirations calmes; tiré 35cc de sang carotidien, moyennement rouge . . . . A

3h 49m. Respirations profondes, 58; pris air du sac . . . . β

3h 50m. Tiré 25cc de sang, moins rouge que A . . . . B

4h 5m. Respirations profondes, agitées, 48 ; θ = 37°,8.

4h 12m. Agitation violente : θ 37°,5.

4h 15m. Air du sac . . . . γ

4h 16m. 52 respirations amples; tiré 25cc de sang, notablement moins rouge C

4h 38m. Air du sac . . . . δ

4h 40m. Respirations, 48; θ = 35°,5; tiré 25cc de sang noir . . . . D

5h. Respirations assez amples, 40 ; pulsations, 36 ; θ = 35°.

5h 3m. Air du sac. . . . . ε

5h 7m. Tiré 25cc de sang très-noir . . . . E

5h 8m. L'œil jusque-là sensible, devient insensible; la pupille se dilate.

5h 10m. Respirations, 6 ; pulsations, 30.

5h 15m. Urine; les respirations deviennent de plus en plus lentes et de plus en plus faibles ; le cœur baisse également.

5h 20m. Mort sans convulsions. Pris air du sac. . . . . η

Pris sang dans le cœur gauche. F

L'urine contient 18cc de CO^2 pour 100cc de liquide.

Le nerf sciatique reste excitable à l'électricité jusqu'à 6h 40m, c'est-à-dire pendant 1h 20m.

Sang A (air libre) contenait	O	21,8	CO^2	42,9
— B (air β : O 12,5 ; CO^2 6.8).	—	21,0	—	48,2
— C (air γ : O 7,6 ; CO^2 9.8).	—	15,4	—	57,8
— D (air δ : O 4,0; CO^2 10,3).	—	6,9	—	58,3
— E (air ε : O 2,8 ; CO^2 14,7).	—	1,0	—	52,4
— F (air mortel η : O 1,9; CO^2 14,7). .	—		—	50,2

Expérience DCXLI. — 28 mars. Chien pesant 11k,5; température rectale 39°.

4^h 10^m. Pris 25^cc de sang carotidien, médiocrement rouge . . . . . . A

Je le fais respirer aussitôt par la muselière dans le sac qui contient environ 100^l d'air.

Respirations, 28.

4^h 40^m. Respirations, 36; pulsations, 92; $\theta = 37°,5$; pris air du sac. . . . . β

4^h 41^m. Tiré 25^cc de sang, moins rouge que A . . . . B

5^h 10^m. Respirations, 36; pulsations, 100; $\theta = 36°$; pris air du sac. γ

5^h 11^m. Tiré 25^cc de sang très-noir C

Encore sensible aux pattes.

5^h 15^m. Cesse soudain de respirer, sans agitation convulsive.

5^h 20^m. Tiré 45^cc de sang au cœur gauche, très-noir . . . . D

Pris air du sac. . . . . δ

Le nerf sciatique est excitable jusqu'à 6^h 30^m, c'est-à-dire pendant 1^h 10^m.

Sang A (respirations à l'air libre) contenait. .		O 15,7;	CO^2 36,5
— B (air β : O 19,2; CO^2 1,9)	—	— 12.8;	— 49,3
— C (air γ analyse perdue)	—	— 2,5;	— 53,8
— D (air mortel δ : O 4,3; CO^2 13,1)	—	— 0,5;	— 53,6

Expérience DCXLII. — 2 avril. Chien terrier jeune, pesant 7^k,5; tube dans la trachée.

6^h. Mis à respirer dans le sac contenant environ 40^l d'air.

6^h 1^m. Tiré 20^cc de sang bien rouge; l'animal reste tranquille tandis qu'on tire le sang . . . . A

6^h 5^m. Respirations, 136; pulsations, 120; $\theta = 36°,5$.

6^h 30^m. Respirations, 50; pulsations, 106; θ 35°,8; pris air du sac. β

6^h 31^m. Tiré 20^cc de sang noir. B

L'animal s'agite; respirations amples et irrégulières; sensible à l'œil et à la patte.

6^h 45^m. Respirations, 52; pulsations, 76; θ 34°,2; pris air. . . . . . γ

6^h 58^m. Respirations, 9; pulsations, 14; θ 33°,8; insensible à l'œil; pris air . . . . δ

et sang très-noir . . . . D

7^h 6^m. Il n'y a plus de respirations; on compte encore 60 pulsations, très-faibles; les intestins remuent dans l'abdomen; les pulsations finissent à 7^h 9^m.

Pris air du sac . . . . ε

Sang A (respirations à l'air libre) contenait :		O 14,6;	CO^2 46,7
— B (air β : O 7,4; CO^2 9,1)	—	— 9,1;	— 52,3
— C (air γ : O 2,6; CO^2 13,3)	—	— 0,8;	— 51,8

L'air mortel ε contient : O 2,4; CO^2 12,9.

Je n'insisterai pas sur les symptômes que m'ont présentés les animaux asphyxiés dont je viens de raconter l'histoire :

ralentissement de la respiration, de la circulation, insensibilité finale, dilatation de la pupille, refroidissement progressif, ce sont là des phénomènes bien connus. J'ai, du reste, parlé de ces symptômes dans le chapitre où j'ai étudié l'asphyxie en vases clos, l'acide carbonique étant éliminé. (Voir page 740).

J'indiquerai seulement que les phénomènes terminaux, c'est-à-dire l'insensibilité de l'œil et la dilatation pupillaire arrivent au moment où il n'y a plus qu'environ de 1 à 2 volumes pour 100 d'oxygène dans le sang artériel (exp. DCXXXIX et DCXL). L'animal est donc alors en grand danger de périr, puisque la quantité d'oxygène trouvée dans ce même sang après la mort a varié de 0,5 à 1,2.

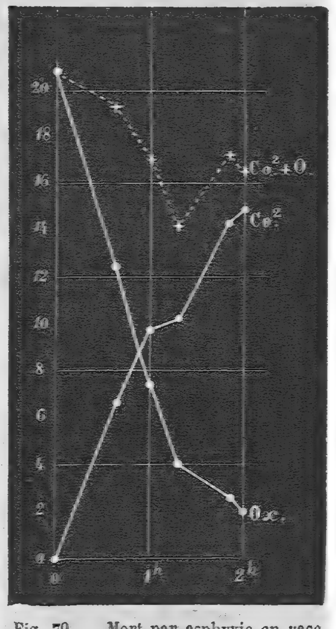


Fig. 79. — Mort par asphyxie en vase clos : gaz de l'air (exp DCXL).

Portons maintenant notre attention sur les altérations progressives de l'air confiné où respiraient mes animaux. Les graphiques de la figure 79 expriment les résultats de l'expérience DCXL, la plus complète de celles que nous avons rapportées.

Sur l'axe des x sont portés les temps écoulés depuis le commencement de l'expérience; sur l'axe des y, les proportions existantes d'oxygène, de CO^2, et la somme $CO^2 + O$ de ces deux valeurs, somme dont les variations présentent ici, comme nous le verrons, un intérêt véritable.

On voit que la consommation d'oxygène a été en diminuant au fur et à mesure que progressait l'asphyxie; dans la première heure, elle était de 13,3 pour 100; dans la deuxième et dernière, de 5,7 seulement. De même il y a eu, dans la première heure, 9,8 d'acide carbonique produit, et seule-

ment 4,9 dans la seconde. Ce sont là des faits identiques à ceux sur lesquels j'ai insisté au sous-chapitre IV du chapitre II.

J'en dirai autant de ce qui a rapport à la composition terminale de l'air mortel. Les variations ont été, pour l'oxygène, de 4,3 (exp. DCXLII) à 1,5 (exp. DCXXXIX), et, pour l'acide carbonique, de 12,6 (exp. DCXXXIX) à 15,8 (exp. DCXXXVIII).

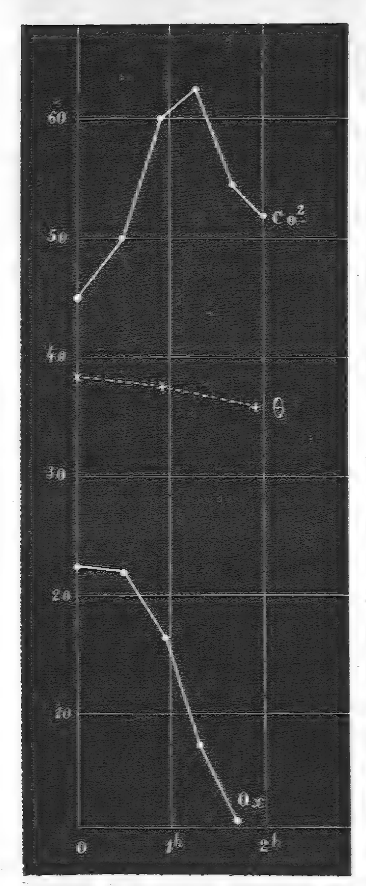


Fig. 80. — Mort par asphyxie en vases clos : gaz du sang. (Exp. DCXXXIV.)

Arrivons maintenant aux gaz du sang. Ici encore le graphique ci-contre (fig. 80) (le volume des gaz n'y a pas été réduit à zéro) montre les faits de la manière la plus évidente (exp. DCXXXIV).

Comme on le sait bien, l'oxygène va en diminuant dans le sang artériel. Mais il n'y diminue pas d'une manière régulièrement proportionnelle au temps; dans la première heure, en effet, nous voyons que la proportion d'oxygène n'a baissé que de 6,6 volumes, tandis qu'elle est tombée de plus de 14 dans la seconde heure.

Ceci est en rapport avec ce que nous ont appris nos études précédentes. L'absorption plus énergique de l'oxygène extérieur, qui se fait au début, a pour conséquence une persistance relative de la richesse en oxygène du sang artériel.

Si maintenant nous dressons un graphique (fig. 81) en prenant pour abscisses les quantités d'oxygène contenues dans l'air extérieur aux divers moments de l'asphyxie, et en por-

tant sur les ordonnées les quantités d'oxygène contenues dans 100 volumes de sang artériel, nous arrivons à un résultat qui ressemble tout à fait au tracé Ox (ligne pointillée) de la figure 59 (page 676), fourni par les asphyxies sans acide carbonique. Celui-ci paraît donc n'avoir en rien agi.

Quant à l'acide carbonique, sa proportion augmente d'abord dans le sang, comme on devait le supposer, puisqu'elle augmente dans l'air où respire l'animal. Mais tout à coup elle

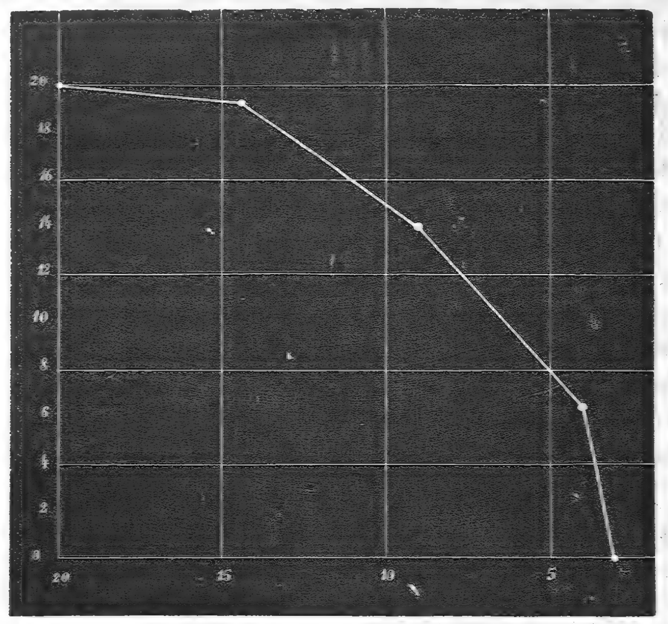


Fig. 81. — Rapport entre la richesse en oxygène de l'air et celle du sang.

diminue, et la courbe (fig. 80) présente un point de rebroussement correspondant à 1 heure 20 min.; ainsi, dans les derniers moments de la vie, il y a dans le sang moins de CO^2 que quelques instants auparavant. Lorsque je constatai ce fait pour la première fois, je crus que cet acide, à ce moment où les pulsations sont très-ralenties, s'était imbibé dans les tissus. Mais si l'on examine comparativement le tracé du CO^2 du sang (fig. 79) avec celui du $CO^2 + O$ de l'air (fig. 80), on y voit un semblable point de rebroussement qui montre

que, au moment où précisément CO^2 diminue dans le sang, il augmente considérablement dans l'air expiré, qu'en un mot il sort de l'animal. J'ai, dans toutes mes analyses, retrouvé ce fait ignoré jusqu'ici : il suffit, pour s'en assurer, de jeter un coup d'œil sur les tableaux qui les résument.

Il ne faut donc pas continuer à dire, comme cela a été trop facilement admis *a priori*, que, dans l'asphyxie en vases clos, la quantité de CO^2 contenu dans le sang va en augmentant jusqu'à la mort ; bien au contraire, et toujours, elle diminue dans les derniers temps de la vie.

Il y a plus, lorsque le volume de l'air où s'asphyxie l'animal est petit, l'acide carbonique diminue dans le sang artériel dès le début, malgré son augmentation dans l'air. C'est ce que montre, par exemple, l'expérience DCXXXVII, où un gros chien n'ayant à sa disposition que 20 litres d'air, la proportion d'acide carbonique de son sang est tombée de 44,8 à 39,9.

Mais lorsqu'on empêche l'acide carbonique de sortir au dehors, comme c'est le cas pour les animaux étranglés ou noyés, il augmente, mais en très-faible proportion, dans le sang.

Exemples :

Expérience DCXLIII. — Avril. Chien pesant $15^k,8$. Tiré à la carotide 33^{cc} de sang artériel. . . . . A

Mis un tube dans la trachée, et aussitôt après, un bouchon dans le tube. Agitation, mort en 4 minutes.

Une sonde a été introduite dans le cœur gauche; au moment où le cœur s'arrête, on tire 33^{cc} de sang très-noir. . . . . B

A contient, pour 100, 33,9 d'acide carbonique.
B — 40,8 —

Ceci répond de la manière la plus péremptoire à la question que nous nous étions posée au commencement de ce chapitre : l'acide carbonique qui se produit pendant l'asphyxie contribue-t-il pour une certaine part à déterminer la mort ?

Déjà tout ce que nous avions appris nous montrait que son rôle, dans tous les cas, doit être singulièrement restreint. Pour que, chez les chiens, l'acide carbonique amène la mort,

il faut que sa proportion dans l'air dépasse 30 pour 100 ; or, dans l'air confiné, où l'animal s'est asphyxié, elle ne s'élève jamais au-dessus de 17 à 18. D'autre part, les troubles de la circulation, de la locomotion, de la calorification, etc., les variations de l'oxygène de l'air, de l'oxygène du sang, sont les mêmes dans les cas où l'acide carbonique a été éliminé de l'air confiné où respire l'animal (chap. III, sous-chapitre II) et dans les asphyxies ordinaires.

Mais les expériences que nous venons de rapporter montrent que l'augmentation de l'acide carbonique dans le sang artériel des animaux asphyxiés, lorsqu'elle existe, n'amène jamais à un chiffre bien supérieur à celui qu'on trouve quelquefois dans le sang d'animaux qui respirent à l'air libre; le maximum a été de 53,6 (exp. DCXLI), et les accidents constatables de l'empoisonnement par l'acide carbonique ne se manifestent pas avant que le sang contienne de 70 à 80 volumes de ce gaz. Enfin, la question ne peut même plus être posée pour les cas où l'acide carbonique, loin d'augmenter, a diminué dans le sang et les tissus.

C'est ici le lieu de rappeler les expériences DCXXIV, DCXXV, DCXXVI, rapportées à propos de l'empoisonnement par l'acide carbonique, sur la recherche de la quantité de ce gaz dissous dans les tissus. Elles montrent en effet que, précisément pour les animaux des expériences DCXXXVIII, DCXXXIX, DCXL, les tissus ne contenaient qu'une faible quantité d'acide carbonique, à peine supérieure, si tant est qu'elle le soit, à celle qu'on y trouve normalement. Enfin, l'urine de chiens asphyxiés n'a donné, en présence d'un acide, que 15 à 20 volumes de CO^2 (exp. DCXXXIX, DCXL), c'est-à-dire la quantité qu'on retrouve en moyenne chez les chiens qui reçoivent une nourriture mixte.

Tout cet ensemble de faits démontre donc péremptoirement que, pour les chiens noyés, étranglés, asphyxiés dans un très-petit volume d'air, l'acide carbonique ne joue aucun rôle dans la mort, et que ce rôle est à peu près nul lorsque l'asphyxie a lieu dans des espaces plus considérables. Peut-être serait-il imprudent d'étendre cette dernière conclusion

aux animaux chez lesquels, comme chez les moineaux, la tension mortelle de l'acide carbonique dans l'air n'est que de 22 à 26 pour 100; cependant ici encore, l'expérience DCXXVIII C. montre que l'acide carbonique n'a point d'importance sérieuse.

Cependant sa diminution dans les tissus lorsque l'asphyxie a lieu dans un air privé d'acide carbonique ou dans l'air dilaté (expériences DCXXVIII D et DCXXIII) pourrait peut-être expliquer les quelques différences que nous avons signalées entre l'asphyxie en vases clos et l'asphyxie par décompression, en parlant notamment de la rigidité cadavérique (V. p. 740).

SOUS-CHAPITRE III

OBSERVATIONS SUR LES GAZ DU SANG.

Les nombreuses analyses des gaz du sang que j'ai rapportées dans ce livre méritent de nous arrêter quelques instants, en dehors même des considérations relatives à la pression barométrique.

Je dirai tout d'abord que la haute température à laquelle je porte le sang dans la pompe à gaz, m'a permis d'extraire beaucoup plus rapidement et beaucoup plus complètement les gaz du sang que n'avaient pu le faire mes devanciers. Sans doute, à 40°, sous l'influence du vide, on finit par obtenir à peu près tout l'oxygène et tout le CO^2 contenus dans le sang; mais il faut longtemps pour cela, les coups de pompe successifs n'amènent plus que de faibles quantités de gaz, il vient en même temps de la vapeur d'eau où l'acide carbonique se redissout lors de la condensation, et enfin, chose plus grave, une petite quantité d'oxygène peut être consommée pendant l'opération même. Au contraire, à la température de l'eau bouillante, tous les gaz sont immédiatement appelés par le vide, et il m'est arrivé quelquefois de les recueillir tous d'un seul coup de pompe.

Azote. — D'après les recherches de Fernet, 100 volumes

de sang, à 15°, sont capables de dissoudre 1,4 volumes d'azote. J'ai souvent trouvé des chiffres un peu supérieurs à celui-ci, ce qui n'a aucune signification, car il pouvait être resté quelques bulles d'air dans tout l'appareil ; mais j'en ai aussi trouvé d'un peu inférieurs, et ceci est plus intéressant. En laissant de côté les causes possibles d'erreur, nous y trouvons cette présomption que le sang, en traversant les poumons, n'est point suffisamment agité avec l'air pour se saturer des gaz qu'il est apte à dissoudre.

Ceci devient une certitude quand nous envisageons les résultats des expériences sur les gaz du sang d'animaux placés dans l'air comprimé. Il s'en faut, en effet, de beaucoup que l'azote suive la loi de Dalton, puisqu'à 10 atmosphères, par exemple, je n'en ai trouvé au maximum que 11 vol. 4 (exp. CLXXXIII).

Je vais revenir dans un instant sur cette constatation importante.

Oxygène. — Les proportions d'oxygène que nous avons trouvées dans un même volume de sang, chez des animaux de même espèce et également bien portants, ont varié dans des limites dont l'étendue a lieu d'étonner.

J'en relève ici le tableau, tant pour l'acide carbonique que pour l'oxygène, en ne prenant, bien entendu, que les expériences faites sur des animaux qui respiraient l'air ordinaire, à la pression normale. J'ai placé entre crochets, et je ne comprends pas dans la moyenne des analyses, celles où les animaux étaient malades, ou respiraient dans des conditions anormales : les indications nécessaires sont inscrites dans la colonne des observations.

Ainsi, en éliminant les circonstances extraordinaires, les extrêmes ont été pour l'oxygène 24,0 (exp. DCLXVI) et 14,4 (exp. CCLXXX). Il y a 8 analyses donnant de 14 à 16, 9 de 16 à 18, 29 de 18 à 20, 25 de 20 à 22, 9 de 22 à 24 ; la moyenne générale a été de 19,4. Mais on voit que j'ai eu raison de prendre assez souvent, dans le cours de ce livre, comme expression moyenne, la proportion de 20 volumes pour 100.

Ces variations peuvent être dues soit à la présence d'une

EXPÉRIENCES	O	CO^2	OBSERVATIONS
CLIV	[17,7]	»	Épuisé par suppuration.
CLV	19,7	45,0	
CLVI	21,4	39,5	Même animal.
CLVI *bis*	21,2	40,1	
CLVI *ter*	21,5	38,6	
CLVII	19,7	36,7	Curare.
CLVIII	[24,6]	[31,2]	Bulbe coupé, repos.
CLVIII *bis*	[18,2]	[28,8]	Id. agitation.
CLIX	18,6	37,0	Tranquille.
CLIX *bis*	19,4	35,2	S'agitant.
CLX	[11,7]	[35,6]	Animal, en état de traumatisme.
CLX *bis*	[12,4]	[32,7]	
CLXI	15,1	40,8	Respiration normale.
CLXI *bis*	20,3	[24,0]	Trachée; respir. exagérées.
CLXIII	18,8	39,7	
CLXIV	21,5	41,9	
CLXV	21,6	36,3	
CLXVI	18,3	[32,8]	Après la dépression.
CLXVII	19,8	[29,1]	Id.
CLXVIII	[26,4]	[22,7]	Id. Resp. très-rapides.
CLXIX	20,6	39,0	
CLXX	21,9	34,7	Avant la dépression.
CLXX *bis*	21,1	35,2	Après la dépression.
CLXXI	19,4	48,4	Id.
CLXXII	20,1	41,1	Id.
CLXXIII	22,6	39,7	
CLXXIV	[13,3]	[34,9]	Malade, id. CLXXI.
CLXXV	17,4	33,8	
CLXXVI	[16,9]	45,7	Après la dépression.
CLXXVII	[14,8]	[22,1]	Id.
CLXXVIII	19,2	»	
CLXXIX	20,8	46,1	Avant la dépression.
CLXXIX *bis*	20,8	40,5	Après la dépression.
CLXXXI	19,2	35,0	
CLXXXII	19,4	55,3	
CLXXXIII	18,3	37,1	
CLXXXIV	18,4	47,7	
CLXXXV	22,8	50,1	
CLXXXVI	20,2	37,1	
CLXXXVII	19,0	48,0	
CLXXXVIII	18,2	50,8	
CLXXXIX	21,5	47,3	
CXC	21,6	45,0	
CXCI	22,2	[29,4]	
CXCII	18,0	49,0	
CCLXXVIII	15,5	[22,9]	Resp. par tube trachéal, exagérées.
CCLXXIX	17,0	39,0	
CCLXXX	14,4	41,0	
CCLXXXI	16,9	33,0	
CCLXXXII	18,1	[24,9]	Respir. par tube, exagérées.

EXPÉRIENCES	O	CO^2	OBSERVATIONS
CCLXXXIII	19,8	[20,9]	Respir. par tube, exagérées.
CCLXXXIV	[12,1]	[29,6]	Id., id.
CCLXXXV	15,1	40,8	Voies naturelles.
CCLXXXVI	15,8	43,0	Tube dans la trachée.
CCLXXXVII	17,2	[22,3]	Id., id.
CCLXXXVIII	16,0	41,5	Voies naturelles.
CCLXXXVIII *bis*	[23,4]	[15,2]	Trachée.
CCLXXXIX	16,0	44,5	
CCXC	18,7	44,0	
CCXCV	17,0	38,5	
CCXCVI	19,0	42,0	
CCCII	[7,3]	[33,0]	Petit chien de 1640 grammes.
DCV	[16,0]	[29,5]	Malade de traumatisme.
DCVI	21,0	43,5	
DCVII	[24,8]	[19,5]	Respir. par voies natur., mais avec rapidité extraordinaire.
DCVIII	18,9	36,5	
DCIX	22,0	46,7	
DCXVI	19,1	44,8	
DCXVII	22,5	39,5	
DCXIX	21,8	44,6	
DCXXXVIII	15,9	44,8	
DCXXXIX	19,8	40,1	Voies naturelles.
DCXXXIX *bis*	[21,5]	[18,3]	Trachée; respir. exagérées.
DCXL	21,8	42,9	
DCXLI	15,7	36,5	
DCXLII	[14,6]	46,7	Animal jeune.
DCXLIII	19,0	33,9	
DCXLIV	[9,4]	[27,6]	Petit chien de 1850 grammes.
DCXLV	15,5	37,2	
DCXLVI	22,5	38,9	A jeun } même animal.
DCXLVII	20,2	36,6	En digestion } même animal.
DCXLVIII	17,9	33,0	
DCXLIX	19,3	34,6	
DCL	[15,0]	34,9	Animal de DCXLIX, malade.
DCLI	20,9	39,1	
DCLII	21,0	40,3	
DCLIII	21,2	»	
DCLIV	[16,8]	[35,3]	Animal de l'exp. CLXXII, malade.
DCLV	18,0	»	
DCLVI	18,1	[25,0]	Respir. très-rapides, par tube trach.
DCLVII	20,8	33,3	
DCLVIII	19,6	39,4	
DCLIX	20,4	36,6	
DCLXI	22,1	36,1	
DCLXII	19,3	38,7	
DCLXIII	22,6	42,4	
DCLXIV	20,0	40,4	
DCLXV	16,7	36,1	
DCLXVI	24,0	50,3	
Moyenne.. . . .	19,4	40,4	

moindre quantité d'hémoglobine dans un même volume de sang (alors même qu'il y aurait un même nombre de globules), soit à une moindre saturation de cette hémoglobine dans les conditions où respire l'animal, soit enfin à une différence plus intime dans la nature de l'hémoglobine et à sa moindre capacité d'absorption pour l'oxygène.

Mais ici, la réflexion que suscitait, il y a un moment, l'étude de l'azote, se présente avec bien plus d'importance. Presque jamais, dans les conditions régulièrement ordinaires de la respiration, le sang artériel n'est saturé d'oxygène, ne contient tout l'oxygène qu'il peut absorber par son agitation avec l'air. Rien de plus variable que cet écart entre ce que contient et ce que peut contenir d'oxygène le sang artériel.

Il y a donc tel individu chez qui une certaine augmentation dans la rapidité et l'ampleur des mouvements respiratoires pourra augmenter notablement l'oxygène du sang, et tel autre, au contraire, qui ne pourrait y trouver presque aucun avantage. Ces deux êtres ne seront donc pas dans des conditions identiques, au point de vue, par exemple, de la diminution de pression. Inversement, il est des individus qui, étant plus saturés déjà, pourront beaucoup mieux que d'autres supporter un certain ralentissement respiratoire, sans voir la proportion de l'oxygène de leur sang s'abaisser à un chiffre trop bas.

D'une manière générale, la richesse du sang en oxygène se manifeste par la rutilance, et plus un sang est rouge, plus il contient d'oxygène. Mais cela n'est absolument vrai que d'un même sang. Mes analyses m'ont, au contraire, très-souvent montré que certains sangs clairs et rutilants étaient pauvres en oxygène, relativement à d'autres sangs à la teinte sombre.

C'est que la rutilance marque seulement la richesse en oxygène de la combinaison oxy-hémoglobique. Si nous supposons deux sangs contenant la même quantité d'oxygène, celui qui sera très-riche en hémoglobine sera notablement moins rutilant que l'autre. C'est ainsi qu'il m'est arrivé, après une copieuse saignée, de trouver un sang plus rouge ou aussi rouge qu'avant, bien que notablement moins riche en oxygène;

seulement, la teinte était plus claire, parce que le sang était moins chargé en globules.

C'est ce que présentent les jeunes animaux. Les expériences CCCII et DCXLV nous ont montré, en effet, chez de petits chiens, un sang rouge clair, qui ne contenait que 9,4 et même 7,3 vol. d'oxygène. Ceci explique la faible résistance des jeunes animaux (je ne parle pas des nouveau-nés, bien entendu) à l'asphyxie, au refroidissement, etc. Ce sont, au plus haut degré, des *anoxyhémiques*.

Mes analyses montrent encore que, chez les animaux malades, la quantité d'oxygène contenue dans le sang artériel est très-faible. Elle s'est, en effet, par exemple, abaissée à 13,3 chez le chien de l'expérience CLXXIV, animal qui souffrait d'une plaie suppurante à la suite d'hémorrhagies, et qui, à l'état sain, avait donné 19,4 (exp. CLXXI).

Il me paraît extrêmement vraisemblable que dans certains cas de maladie, la moindre quantité d'oxygène contenue dans le sang doit tenir, non-seulement à une moindre quantité de globules ou même d'hémoglobine, mais à une altération de cette dernière, qui devient moins apte à se charger d'oxygène. C'est là un sujet très-important de recherches, dont, sur mon indication, M. le docteur Légerot[1] a commencé l'étude.

Quoi qu'il en soit, laissant de côté les très-jeunes animaux et les malades, il reste établi que de grandes différences existent entre divers animaux d'une même espèce au point de vue de la richesse oxygénée de leur sang.

D'autre part, chez le même animal, des changements considérables dans les rhythmes circulatoire et respiratoire peuvent modifier notablement cette richesse en oxygène. J'ai déjà indiqué ces faits dans le chapitre qui traite de la critique expérimentale de ma méthode d'analyse des gaz du sang (V. p. 626 et suiv.). Les expériences CLVI, CCLXXXVIII et DCXXXIX, rapportées au précédent tableau, sont tout à fait caractéristiques à ce point de vue.

[1] Légerot, *Études d'hématologie pathologique basées sur l'extraction des gaz du sang.* — Thèses de Paris, 1875.

Acide carbonique. — L'acide carbonique a été extrait du sang dans des proportions encore plus variables que celles de l'oxygène. Les extrêmes ont été, toujours en éliminant les faits exceptionnels, 50,8 (exp. CLXXXVIII) et 33 (exp. CCLXXXI). Il y a eu 36 analyses donnant de 30 à 40, 32 de 40 à 50, 3 au-dessus de 50, et la moyenne générale a été 40,4.

L'accélération de la respiration, surtout lorsque celle-ci se fait directement par la trachée, fait diminuer dans une proportion souvent énorme, la quantité du CO^2 du sang. J'ai déjà indiqué ces faits en traitant de la critique expérimentale et du degré d'exactitude qu'il convient d'attribuer aux analyses des gaz du sang. Les faits que nous ont signalés nos expériences sont reproduits au tableau ci-dessus : ce sont les expériences CLXI *bis*, CCLXXVIII, CCLXXXII, CCLXXXIII, CCLXXXVII *bis*, DCVII, DCXXXIX *bis*, et DCLVI. J'appelle surtout l'attention sur l'expérience CCLXXXVIII, où la quantité de CO^2 est tombée de 41,5 à 15,2 par la respiration trachéenne; et l'expérience DCVII, où une respiration exagérée, mais par les voies naturelles, a amené ce gaz à 19,5.

Ainsi, la diminution de l'acide carbonique du sang par la respiration exagérée sous la pression normale peut arriver presque au même degré que chez les animaux soumis aux plus basses pressions atmosphériques, puisque le tableau X (page 643) donne comme moyennes 29,3 à la pression de 34^c, 23,2 à celle de 25^c, et encore 12,4 à celle de 17^c.

Si nous revenons aux circonstances de l'extraction des gaz par la pompe, nous verrons que la facilité de cette extraction dépend, comme on devait s'y attendre, de la quantité qui en existe dans le sang. J'ai fait à ce propos un assez bon nombre d'expériences pour voir dans quelles proportions sortent du sang l'oxygène et l'acide carbonique, lorsqu'on diminue graduellement la pression.

L'expérience était disposée de la manière suivante : un vide partiel étant fait dans la pompe barométrique, j'y introduisais le sang à analyser ; puis j'extrayais, par des coups de pompe successifs, une partie à la fois de l'air qui restait et des gaz sortis du sang; je continuais ainsi jusqu'à ce qu'il ne

sortît plus rien. Les gaz amenés par chacun des coups de pompe successifs étaient alors l'objet d'autant d'analyses.

Voici les résultats d'une de ces analyses fragmentées :

Expérience DCLX. — 23 janvier. 100cc de sang pris à l'artère brachiale d'un grand chien de berger.

La pompe à gaz a été amenée à 16c,5 de pression réelle ; j'introduis le sang, l'agite un moment, et extrais du premier coup de pompe 92cc de gaz. . . . . A

A une 2e extraction, j'amène	85cc de gaz.	B
A la 3e (pression 12cc,5) .	61cc —	C
— 4e (5c) .	25cc —	D
— 5e (jusqu'au vide) . .	2cc,5 —	E

Le bain-marie était à l'ébullition ; j'introduis alors dans le récipient un peu d'acide sulfurique étendu d'eau distillée bouillie.

Il vient encore 1cc de CO^2.

Les analyses montrent que :

Le gaz A ne contenait ni O ni CO^2, venant du sang.

— B	contenait	1cc,9	d'oxygène, et	1cc,9	de CO^2
— C	—	13cc,9	—	17cc,8	—
— D	—	4cc,6	—	12cc,0	—
— E	—	0cc,4	—	1cc,6	—
Au total :		20cc,8	—	33cc,3	—

Le rapport $\frac{CO^2}{O}$ entre l'acide carbonique et l'oxygène a donc été successivement : à B, 1 ; à C, 1,3 ; à D, 2,6 ; à E, 4. Le rapport total étant 1,6, il en résulte que, pendant la première phase de l'expérience, il est sorti *proportionnellement* plus d'oxygène du sang que d'acide carbonique ; le contraire a eu lieu dans la seconde phase.

D'autres expériences semblables déposent dans le même sens, et il serait oiseux d'en donner les détails. De même, lorsque, le sang étant introduit dans le vide parfait, j'analysais à part les gaz que m'apportaient les coups de pompe successifs, je trouvais toujours un résultat analogue. C'est, enfin, ce qu'ont donné les expériences faites sur les animaux soumis à de faibles pressions (voir tabl. X, col. 4, 5).

Ainsi, de quelque côté qu'on aborde le problème, on voit que, sous l'influence de la diminution de pression, le sang perd d'abord, *proportionnellement*, plus vite son oxygène que son acide carbonique; puis l'équilibre s'établit ; puis l'acide

carbonique sort en proportion plus grande, et, à la fin, la pompe n'amène plus que de l'acide carbonique.

Il en est même encore ainsi lorsqu'il s'agit d'un sang où la proportion d'acide carbonique est beaucoup au-dessus de la moyenne. Les expériences d'empoisonnement par l'acide carbonique nous en offrent de nombreux exemples.

Ainsi, dans l'expérience DCXIV (p. 990), dans le sang C qui contenait CO^2 103,6 et Ox. 18,2, le rapport $\frac{CO^2}{O}$ étant ainsi 5,7, les premiers coups de pompe ont amené un gaz où la proportion $\frac{CO^2}{O}$ était 5,2, tandis que les derniers ont donné le rapport 6,0. De même, dans l'expérience DCXV, pour le sang E (CO^2 97,5; O 18,7), le rapport $\frac{CO^2}{O}$ étant 5,2, on a eu, pour le premier tube rempli de gaz, le rapport 4,7, et pour le deuxième, le rapport 9.

Le vide de la pompe à gaz, employé comme je l'ai dit, concurremment avec la température de l'eau bouillante, a pour effet d'enlever presque tout l'acide carbonique contenu dans le sang. L'addition consécutive d'un acide fort n'en met en liberté que des quantités minimes et parfois nulles : l'expérience que je viens de citer en donne un exemple suffisant.

On sait combien ont varié les opinions des physiologistes et des chimistes sur l'acide carbonique qui peut être extrait par la pompe (acide libre, dissous, *ausgepumpen* des Allemands) et celui qui résiste au vide aidé de la chaleur (acide combiné, lié, *gebunden*). Les anciens auteurs croyaient ce dernier très-abondant (Lothar Meyer l'estimait à 28,58 contre 6,17 de libre); mais les analyses de Schöffer, Setschenow, Pflüger, etc. en ont successivement réduit la proportion à ce que nous avons constaté nous-même.

Dans du sang saturé artificiellement d'acide carbonique, ce gaz se trouve à trois états : simplement dissous, combiné faiblement (bicarbonates et phosphocarbonates) ou combiné fortement (carbonates). Mais à quel état existe-t-il dans le sang normal, artériel et veineux? Y a-t-il dans ces conditions

naturelles de l'acide carbonique simplement dissous? M. Fernet (*loc. cit.*, p. 209) avait conclu de ses expériences que dans le liquide saturé, c'est-à-dire contenant $156^{cc},1$ de CO^2 pour 100^{cc} de sang (sang de bœuf à 16°), la plus forte partie ($96^{cc},4$) de cet acide est dissoute dans le sang, puisqu'elle suit la loi de Dalton dans ses rapports avec la pression barométrique, et que le reste ($59^{cc},7$) est combiné à l'état de bicarbonate ou de phospho-carbonate, parce qu'il échappe à cette loi.

Or, nos analyses nous ont montré que, dans le sang artériel, il n'y a que très- rarement 50 volumes de CO^2. On peut donc dire que, régulièrement, le sang artériel ne contient que du CO^2 combiné, faiblement et fortement. Au contraire, dans le sang du cœur droit nous avons trouvé, en moyenne, des proportions plus élevées de CO^2 ; ce sang paraît donc contenir, en outre, du CO^2 simplement dissous.

Ceci nous amène donc à penser que la respiration, pour ce qui a trait à l'acide carbonique, consiste surtout et peut-être exclusivement dans une exhalation de l'excès d'acide carbonique simplement dissous, la partie combinée à l'état de bicarbonate ou phosphocarbonate n'étant que peu ou point modifiée. Dans la respiration parfaite, à son rhythme régulier, il ne devrait pas rester dans le sang artériel d'acide dissous.

Dans le but de m'éclairer sur ce point important pour la théorie générale de la respiration, j'ai institué des expériences d'après la méthode suivante. Je tire à un animal du sang artériel, dont je détermine aussitôt la tension en acide carbonique, à l'aide du vide et de la chaleur. Puis, j'agite pendant 2 heures, à l'aide de la machine à eau (voy. fig. 42, p. 688), un autre échantillon du même sang dans un flacon plein d'acide carbonique pur : une vessie de caoutchouc pleine elle-même de CO^2 et communiquant avec le flacon, empêche que l'absorption ne diminue la tension gazeuse. Après ce temps, nouvelle analyse. Je défalque alors du nombre trouvé la quantité de CO^2 que le sang serait capable de dissoudre à la température actuelle (les constatations de M. Fernet m'ont permis

de me servir pour les coefficients de solubilité des tables de Bunsen), et le nombre restant doit indiquer s'il y a encore dans le sang artériel du CO^2 dissous. Prenons, pour être plus clair, un exemple : supposons que le sang artériel ait donné 40 volumes de CO^2, et qu'après agitation à 16° il en contienne 138 ; le coefficient de solubilité étant 96,4, on voit que les sels du sang exigeaient pour se saturer 138 — 96,4 = 41,6 ; donc, dans le sang ils n'étaient pas au maximum de carbonisation, puisqu'il leur manquait pour cela 1,6 vol. de CO^2.

Voici quelques expériences faites par cette méthode si simple. Les deux premières de ces expériences comprennent en outre l'analyse du gaz du sang du cœur droit :

Expérience DCLXI. — 4 juillet. Chien.

Tiré 25^{cc} de sang à l'artère fémorale.

Il contient O 22,1 CO^2 36,1. Simultanément 25^{cc} de sang du cœur droit. Il contient O 5,5 CO^2 56,4.

100^{cc} de sang sont agités pendant 24^h avec CO^2 pur (temp. 20°).

Contiennent alors 127,4 de CO^2.

Coefficient de solubilité à 20° : 91,5. Or, 127,4 — 91,5 = 35,9. Donc, les sels du sang artériel sont exactement saturés. Quant au sang veineux, il contient, toute saturation étant parfaite, 20,5 volumes de CO^2 dissous.

Expérience DCLXII. — 9 juillet. Chien en digestion, pesant 8 kil. (il meurt dans la nuit des suites de l'hémorrhagie).

Tiré à l'artère crurale 25^{cc} de sang, qui contient O 19,3 CO^2 38,7 (à 0° et 760^{mm}).

Tiré simultanément au cœur droit, 50^{cc} contenant CO^2 49,0.

On enlève alors 350^{cc} de sang artériel, qui sont agités pendant toute la nuit avec du CO^2 pur.

Le lendemain (temp. 20°), ce sang contient 172,1 volumes de CO^2.

Le coefficient de solubilité de CO^2 à 20° était 91,5; d'autre part, 172,1 — 91,5 = 80,6. Il en résulte qu'il s'en fallait de 41,9 que le sang artériel fût chimiquement saturé de CO^2, et qu'au sang veineux lui-même il en manquait 31^{cc},6.

Expérience DCLXIII. — 26 juin. Chien de grande taille ; je tire à la carotide 25^{cc} de sang, qui contient O 22,6 ; CO^2 42,4.

Agitation pendant 18 heures avec CO^2 pur. Contient alors (temp. 23°) 146,8 volumes de CO^2.

Coefficient de solubilité à 23°, environ 87 ; 146,8 — 87 = 59,8. Donc, manquent pour saturation des bases du sang artériel 17,4 volumes environ.

Expérience DCLXIV. — 11 juillet. Chien à jeun, pesant 10 kil.

Tiré 25cc de sang à l'artère crurale ; il contient O 20,0 ; CO^2 40,4.

On met à agiter 100cc du même sang avec deux fois son volume de CO^2 pur.

Le lendemain (temp. 22°), on analyse le sang, qui contient 155,9 vol.

Coefficient de solubilité à 22° : 90,1. Donc, manquent pour la saturation 25,4 vol. de CO^2.

Expérience DCLXV. — 18 juillet. Chien à jeun, pesant 13 kil.

Expérience semblablement conduite : sang artériel : O 16,7 ; CO^2 36,1. Après agitation (40 heures) dans CO^2 contient 147,6 (temp. 20°).

Coefficient de solubilité à 20° : 91,5. Donc, manquent pour la saturation 20 vol. de CO^2.

Expérience DCLXVI. — 22 juillet. Chien à jeun, pesant 11 kil.

Sang artériel : O 24,0 ; CO^2 50,3.

26 *juillet*. — Après agitation : CO^2 167,0 (temp. 22°).

Coefficient de solubilité à 22°, environ 88,5. Donc, manquent pour la saturation 28,2 vol. de CO^2 environ.

Expérience DCLXVII. — 20 août. Chien à jeun.

Sang artériel : CO^2 54,0.

Après agitation pendant 5 heures en présence d'acide carbonique pur, le sang contient, à 22°, 166 volumes de CO^2.

Le coefficient de solubilité étant 90,1, on voit qu'il manquait à la saturation des bases 22 vol. de CO^2.

Expérience DCLXVIII. — 24 juillet. Cheval vieux, épuisé, paralysé du train postérieur, sur qui l'un des nerfs sympathiques vient d'être coupé au cou.

Tiré sang carotidien du côté du sympathique coupé.

Il contient O 11,8 ; CO^2 44,8.

Pris de même sang veineux dans une branche de la jugulaire ; il contient O 11,8 ; CO^2 54,0.

Avant la section, le sang veineux avait donné CO^2 50,1. Agité pendant 24 heures, avec l'acide pur, contient (temp. 19°) 178,2 volumes de CO^2. Il a pris une teinte brune fort singulière, que je n'ai jamais vue.

Coefficient de solubilité à 19° : 92,5. Donc, il manque pour saturation complète des bases du sang artériel 40,9 volumes de CO^2, et pour celle du sang veineux avant toute section nerveuse, 31,7.

On voit que, dans aucune de nos expériences, le sang artériel ne contenait d'acide carbonique simplement dissous ; une seule fois (exp. DCLXI), les bases alcalines étaient exactement saturées. Il y a plus, le sang veineux lui-même, dans les expériences DCLXII et DCLXVI, ne contenait que de l'acide

carbonique combiné; mais dans l'expérience DCLXI, il y avait 20,5 volumes de CO^2 dissous.

Il faudrait peut-être, pour asseoir des conclusions définitives, disposer d'un nombre d'expériences plus considérable; cependant, pour le sang artériel, la concordance de nos analyses est parfaite, et nous pouvons, je crois, considérer comme démontré ce fait que tout l'acide carbonique dissous (lorsqu'il en existe dans le sang veineux) s'échappe à la traversée des poumons, et que les sels alcalins surcarbonatés y sont en outre dissociés pour une partie de leur acide qui ne dépasse guère le tiers.

Mais cette dernière limite peut être franchie, et une plus forte proportion d'acide carbonique combiné peut sortir par l'acte respiratoire et ne plus se retrouver dans le sang artériel. C'est ce qui arrive, notamment, lors des respirations exagérées à travers un tube placé dans la trachée; c'est ce qui arrive dans les empoisonnements par le curare, lorsqu'on fait la respiration artificielle, même avec précautions; c'est ce qui arrive après ou pendant les convulsions dues à l'oxygène comprimé (voir particulièrement à ce point de vue l'expérience CCLXXXVI, p. 784, où la proportion du CO^2 s'est abaissée à 9,9 volumes dans le sang artériel); c'est ce qui arrive enfin par la respiration dans l'air raréfié. L'alcalinité du sang doit notablement augmenter dans ces circonstances, ce qui ne pourrait manquer, si elles étaient durables, d'exercer une influence considérable sur l'état de santé de l'animal en expérience; nous aurons à revenir sur ce dernier point en étudiant dans notre troisième partie les conditions de la vie des habitants des hauts lieux.

TROISIÈME PARTIE

FAITS RÉCENTS,

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

CHAPITRE PREMIER

DIMINUTION DE PRESSION.

SOUS-CHAPITRE PREMIER

OBSERVATIONS, THÉORIES ET CRITIQUES RÉCENTES.

Les résultats principaux des expériences rapportées dans la deuxième partie du présent ouvrage, et la théorie qui s'en déduit relativement à l'influence des hauts lieux, sont soumis au jugement du public depuis plusieurs années [1]. L'idée que les

[1] Voici la liste de mes notes sur ce sujet, avec les dates de leurs publications :

A. — *Recherches expérimentales sur l'influence que les changements dans la pression barométrique exercent sur les phénomènes de la vie.* — Comptes rendus de l'Académie des sciences.

1re NOTE. — *Mort dans l'air confiné ; diminution de pression.* (Séance du 17 juillet 1871.)
2e NOTE. — *Mort dans l'air confiné ; augmentation de pression.* (Séance du 21 août 1871.)
3e NOTE. — *Mort par l'acide carbonique ; action toxique de l'oxygène.* (Séance du 26 février 1872.)
4e NOTE. — *Les modifications dans la pression barométrique n'agissent qu'en modifiant la tension de l'oxygène.* (Séancé du 1er juillet 1872.)
5e NOTE. — *Les gaz du sang sous diminution de pression.* (Séance du 8 juillet 1872.)
6e NOTE. — *La décompression brusque.* (Séance du 19 août 1872.)
7e NOTE. — *Les gaz du sang sous augmentation de pression.* (Séance du 26 août 1872.)
8e NOTE. — *L'empoisonnement par l'oxygène : dose, symptômes; analyse physiologique.* (Séance du 17 février 1873.)
9e NOTE. — *La décompression brusque : analyse, prophylaxie.* (Séance du 3 mars 1873.)
10e NOTE. — *Action toxique de l'acide carbonique.* (Séance du 19 mai 1873.)
11e NOTE. — *Action des variations de pression sur la végétation.* (Séance du 16 juin 1873.)
12e NOTE. — *Action toxique de l'oxygène : ralentissement des oxydations.* (Séance du 25 août 1873.)
13e NOTE. — *Expériences personnelles sur la dépression.* (Séance du 30 mars 1874.)

B. — *De la quantité d'oxygène que peut absorber le sang aux diverses pressions barométriques.* — Comptes rendus de la séance du 22 mars 1875.

C. — *Influence de l'air comprimé sur les fermentations.* — Comptes rendus de la séance du 28 juin 1875.

D. — *De l'emploi de l'oxygène à haute tension comme procédé d'investigation physiologique.* — Comptes rendus de la séance du 21 mai 1877.

accidents amenés par le séjour dans l'air raréfié, et spécialement que le *mal des montagnes* ont pour cause unique la diminution dans la tension de l'oxygène aérien, et ne sont en définitive qu'une forme de l'asphyxie, a soulevé bien des polémiques, le plus souvent fort peu instructives, et qu'il serait peu intéressant de reproduire ici.

Parmi ceux qui ont cru devoir combattre mes conclusions, les uns paraissent ne pas en avoir une connaissance exacte et surtout n'avoir pas lu les expériences sur lesquelles elles s'appuient; c'est ainsi que M. Bouchut[1] écrit les lignes suivantes, en 1875 :

On peut discuter pour savoir si c'est bien la diminution de l'oxygène du sang qui est la cause du mal de montagne, ou plutôt une *carbonhémie* due à l'accumulation de l'acide carbonique dans le sang, qui stupéfie les organes et en dérange les fonctions; mais cela ne change rien au fait en lui-même, qui est incontestable. A mon point de vue, et d'après mes expériences, les phénomènes nerveux de l'asphyxie sont tous dus à l'action stupéfiante de l'acide carbonique retenu dans le sang. J'ai démontré, en effet, que tous les animaux qui périssent asphyxiés par défaut d'oxygène ont préalablement une anesthésie plus ou moins prononcée, et je suis surpris que les aéronautes n'aient pas indiqué le fait alors qu'il est si facile de le constater sur un mammifère mis sous le récipient d'une machine pneumatique.

J'ai lu bien des articles curieux sous ce rapport. Je n'en citerai qu'un cependant, parce qu'il a eu les honneurs de l'insertion au *Journal officiel*[2], et parce qu'il peut servir de modèle en cet art si commun, de masquer son ignorance derrière un langage aux allures scientifiques et pompeuses :

Pour avoir une explication satisfaisante du mal des montagnes, il faut arriver aux connaissances modernes sur la physiologie et la physique humaines. On a cru d'abord trouver la cause de ces phénomènes dans la raréfaction croissante de l'air à mesure qu'on s'élève.

La diminution de densité des couches atmosphériques produit bien, il est vrai, une accélération du pouls et de la respiration; mais ces symptômes restent isolés et passent souvent inaperçus chez les aéronautes à des hauteurs de beaucoup supérieures à celles où se produit le *mal des montagnes*. La raréfaction de l'air est compensée par l'augmentation de

[1] *Journal officiel* du 22 mai 1875, p. 3624.
[2] *Journal officiel* du 14 juin 1876, p. 4165.

fréquence et d'amplitude des respirations. De plus, l'oxygène, dans ce cas, s'il est moins abondant, paraît mieux se fixer et se dissoudre dans le sang, ce qui diminue d'autant les inconvénients de sa rareté.

Quoi qu'il en soit, l'ascension dans les régions supérieures de l'air, si elle a une certaine influence, ne la possède qu'à titre auxiliaire, et comme pour rendre plus sensible et plus prompte celle du travail exagéré que nécessite la marche; car c'est là, c'est dans l'accroissement du travail mécanique qu'il faut chercher la vraie raison du mal des montagnes.

En effet, l'homme au repos, pour entretenir la chaleur animale et la vie, consomme une quantité déterminée de chaleur, dont l'hydrogène et le carbone font les frais. D'après les théories modernes, tout travail mécanique est le résultat ou la transformation d'une quantité équivalente de calorique fourni par les combustions intimes.

Ce calorique, transformé en travail, n'augmente pas la température du corps; mais il ne peut se produire sans donner les résidus ordinaires qui sont, comme on le sait, de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau. L'exagération du travail à laquelle oblige la marche fatigante des ascensions use donc dans le sang les matériaux de la calorification et produit une quantité surabondante d'acide carbonique, dont l'économie se débarrasse par l'accroissement de la respiration. Encore cette décharge est-elle souvent insuffisante; d'où les phénomènes que nous avons décrits, lesquels sont d'autant plus marqués que l'on est dans des régions froides; d'où encore la rapidité avec laquelle ils cessent lorsque le voyageur se repose, et qu'il ne demande plus à l'acte respiratoire que la chaleur nécessaire à son entretien.

L'excès d'acide carbonique se dégage et tout rentre dans l'ordre.

Il en est qui ont protesté au nom des anciennes théories, et fait revivre les idées malheureusement classiques sur la diminution du poids supporté par le corps, les hémorrhagies par succion, la ventouse périphérique. J'ai raconté plus haut (V. p. 321) la singulière discussion soulevée à l'Académie de médecine, et l'opinion de M. Colin sur le rôle des gaz intestinaux dilatés.

M. le docteur Chabert[1], dans une thèse récente, après avoir rapporté et adopté notre théorie, ne peut s'empêcher, non sans remords il est vrai, de sacrifier lui aussi aux anciens dieux, aux faux dieux :

L'accélération de la respiration et de la circulation a donc bien réellement pour cause principale le besoin plus pressant d'oxygène.... Mais

[1] *Des accidents qu'on observe dans les hautes ascensions aérostatiques.* — Thèses de Paris, 1875.

certaines causes secondaires viennent en outre favoriser cette accélération. Nous admettrons, entre autres, comme pouvant aider à ce résultat, la plus grande tension des liquides et des gaz du sang, augmentation de tension qu'on indique généralement comme devant se produire dans les hautes régions, et qui serait due à la diminution de la pression ambiante. Elle agirait en donnant au sang une fluidité plus grande, tandis que la diminution de la pression atmosphérique permettrait aux capillaires de se dilater, ajoute-t-on, et par suite de donner au sang un passage plus facile. Mais n'a-t-on pas quelque peu exagéré l'influence de cette dernière cause? Le froid toujours si intense des régions où l'air est raréfié ne doit-il pas largement contre-balancer cette action, déjà douteuse, sur la circulation périphérique? Le froid, en effet, produit une stase du sang dans les capillaires sur lesquels peut se manifester son influence, c'est-à-dire sur ceux mêmes que pourrait influencer la diminution de pression. Or, cet effet du froid doit atténuer beaucoup l'action peut-être encore problématique, de la dépression atmosphérique dans ce cas; et à l'appui de notre opinion nous voyons, en effet, dans les observations que nous avons rapportées, que cette circulation périphérique est loin d'être aussi activée qu'on veut bien le dire. M. Glaisher se plaint que ses mains bleuissent; dans une autre ascension, il est obligé de verser de l'eau-de-vie sur celles de son compagnon Coxwell, qui sont devenues noires et insensibles, et nous voyons encore le même fait se produire d'autres fois. (P. 28.)

Ces vieilles hypothèses ne méritent plus de nous arrêter maintenant; un mot nous suffira tout à l'heure pour en résumer la réfutation définitive.

Mais nous sommes loin de traiter avec le même dédain l'intéressante théorie développée par M. Dufour. Nous avons vu, dans la partie historique de ce livre (p. 303), que ce savant avait, en 1874, mais sans connaître encore nos expériences, émis l'opinion que le mal des montagnes est dû à l'épuisement, par le fait des contractions musculaires exagérées, des matériaux ternaires du sang et des tissus, matériaux nécessaires à la production de la chaleur et du travail. La réponse à cette théorie se présente d'elle-même, et nous l'avons exprimée en quelques mots (p. 354). La discussion qui eut lieu au sein de la Société médicale de la Suisse romande ayant fait connaître à M. Dufour les résultats de mes expériences, il modifia quelque peu sa manière de voir, et en arriva à considérer qu'il faut distinguer le *mal d'altitude* d'avec le *mal de fatigue*, la combinaison de

ces deux facteurs engendrant le *mal de montagne*. Voici, du reste, ses propres paroles[1] :

A. *Le mal d'altitude.* — Le sang perd sa provision d'oxygène suivant les règles établies par M. Bert pour quelques animaux. Ainsi, si on peut appliquer à l'homme les résultats obtenus chez les animaux, à 4200 mètres le sang aurait déjà perdu un cinquième de l'oxygène qui doit y être contenu, à 6400 mètres presque la moitié, et ainsi de suite.

On comprend que cela constitue un état pathologique, lequel survient par le simple fait que l'on respire à une pression trop faible ou dans un air trop peu oxygéné.

Le mal d'altitude est le seul mal qu'éprouvent les aréonautes si nous ne faisons pas entrer en ligne de compte l'influence du froid.

B. *Le mal de fatigue.* — C'est la conséquence du travail musculaire. Si celui-ci est répété et violent, comme après l'ascension rapide d'une longue rampe d'escaliers, le mal de fatigue sera une asphyxie par défaut d'oxygène et excès d'acide carbonique dans le sang. Si le travail musculaire est long et soutenu, sans réparation alimentaire, l'organisme souffrira par inanition.

L'asphyxie par travail musculaire ne se produira guère à la plaine, si le travail n'est pas trop rapide ; elle se produira facilement dans les hauteurs, d'après les résultats de M. Bert. Mais un travail prolongé, quel qu'il soit, finira toujours par produire des symptômes pathologiques. Ceux-ci doivent être très-difficiles à déterminer exactement ; il paraît probable cependant que c'est au mal de fatigue que l'on doit la plupart des symptômes pathologiques observés en montagne.

Le *mal de montagne* serait alors une action combinée du mal d'altitude et du mal de fatigue, ou plutôt un mal de fatigue venant plus rapidement, par le fait de l'altitude. Plus le mal de montagne se montre à un niveau bas, plus il dépend du facteur inanition sur lequel j'ai insisté, plus il se montre à un niveau élevé, plus l'anoxyhémie de M. Bert joue un rôle important.

Le mal des montagnes nous apparaît ainsi comme un phénomène complexe dépendant de l'altitude, de la fatigue (celle-ci dépendant à son tour du travail, de l'alimentation) et des impressions morales que MM. Javelle et Forel (*Bulletin*, mars et juin) ont démontrées par d'intéressants exemples (p. 263).

La conséquence de ceci, c'est :

Qu'il est impossible que M. Bert puisse étudier le mal des montagnes sous la cloche pneumatique. Pourquoi? Parce qu'il n'éprouve que l'influence de la raréfaction, c'est-à-dire le mal d'altitude pur et simple (p. 264).

[1] *Encore un mot sur le mal des montagnes.* — *Bull. de la Soc. méd. de la Suisse romande*, 1874, p. 261-264.

Nous n'avons rien à changer à notre réponse. La fatigue à laquelle sont soumis les ascensionnistes a-t-elle pour cause prochaine, comme le dit M. Dufour, l'usure des matériaux carbonés des muscles et du sang? C'est là une hypothèse vraisemblable, bien que non prouvée et certainement incomplète. On a beaucoup écrit et beaucoup expérimenté sur la fatigue musculaire et nerveuse, et la question est encore pleine d'obscurités. Mais enfin, il importe peu que cette fatigue consécutive à des excès de marche et à des efforts continus d'ascension soit la suite d'excursions sur des collines de 5 à 600^{m} d'altitude, ou dans des montagnes dépassant 4000^{m}. Or, les manifestations seront tout autres dans les deux cas; et le nom même du *mal des montagnes* est des plus caractéristiques. Il ne se montre qu'à un certain niveau, là où la désoxygénation du sang est arrivée à un degré suffisant, et nous verrons dans un moment à préciser ce mot. Si les aéronautes ne sont frappés que bien après les ascensionnistes, ce n'est point parce que leur réserve de matériaux ternaires est intacte, car il leur suffit de se livrer à quelques efforts pour être malades aussitôt, c'est parce que leurs muscles au repos ne demandent point au sang artériel appauvri une quantité d'oxygène qu'il serait incapable de leur fournir. Est-ce à dire que les diverses causes de fatigue ne jouent aucun rôle dans les conditions d'apparition du mal des montagnes? J'ai répondu déjà à cette question (V. p. 337); mais il est douteux qu'il s'agisse d'usure des matériaux ternaires, puisqu'une nuit sans sommeil, une indigestion, une indisposition quelconque ont les mêmes conséquences fâcheuses. L'homme fatigué présente les meilleures conditions pour le développement du mal des montagnes; mais celui-ci ne reconnaît pas la fatigue pour cause, puisque, si elle est seule, il n'apparaît jamais.

M. Forel, des travaux duquel il a été question dans notre première partie (V. p. 300), a complétement adopté mes idées dans son troisième Mémoire[1]. Je reproduis ici l'intéressant

[1] *Expériences sur la température du corps humain dans l'acte de l'ascension sur les montagnes.* 3[e] série. — Genève et Bâle, 1874. (Extrait du *Bull. de la Soc. méd. de la Suisse romande.*)

récit d'une excursion faite par ce physicien dans une grotte dont l'air était fort pauvre en oxygène, récit qu'il faut rapprocher de celui de M. F. Leblanc (V. p. 745) et aussi, à cause d'une remarquable coïncidence de symptômes, de mon expérience CCLIV (V. p 750) :

Je faisais, le 23 juin 1864, une course d'exploration dans la Grotte-des-Fées de St-Maurice, caverne très-profonde qui présente entre autres particularités une atmosphère très-pauvre en oxygène ; voici le résultat d'une des analyses que M. le professeur Bischoff a faites sur l'air recueilli à 1000 mètres de distance de l'entrée de la caverne.

Azote	82,66
Oxygène	15,33 [1]
Acide carbonique	1,99.

Si je calcule la tension de l'oxygène dans cet air, je vois qu'elle est de 14,7 centièmes d'atmosphère, la tension normale au bord de la mer étant de 20,9. Ce chiffre corespondait à la tension de l'air à une altitude de plus de 2000 mètres.

Après un séjour de plusieurs heures dans cette caverne, en étudiant mon état physiologique, j'ai constaté : accélération du pouls, accélération des mouvements respiratoires, et troubles intellectuels que je décrivais alors dans les termes suivants : Lorsque j'ai voulu compter mon pouls, j'ai été obligé d'y revenir à sept fois; je me trompais souvent, je passais des nombres, je comptais deux fois de suite la même dizaine ou je comptais une dizaine en commençant par la fin.

La similitude presque complète des symptômes de troubles intellectuels observés par M. Bert et par moi, à un si grand intervalle et dans des conditions extérieures si différentes, m'a semblé mériter d'être signalée. (P. 88.)

M. Forel voit, comme nous, la cause de la faiblesse des contractions musculaires pendant le mal des montagnes, dans l'épuisement de l'oxygène du muscle, et non dans la consommation des réserves carbonées de l'organisme, et il s'exprime à ce propos en termes excellents :

Nous pouvons reproduire la fatigue spéciale du mal des montagnes, en plaine, en montant, en courant rapidement une longue rampe très-inclinée, une centaine de marches d'escalier ; par exemple l'Escalier-du-Mar-

[1] P. Moyle a rencontré dans une mine de cuivre du duché de Cornouailles, la mine de Carn-Bréa, une proportion plus faible encore d'oxygène (14,51). Deux hommes y travaillaient; mais il ne dit rien des troubles physiologiques. — *Ann. de phys. et de chimie*, 3e série, t. III, p. 318-331, 1841.

ché, à Lausanne, m'a souvent servi pour cette expérience. En arrivant près du sommet, l'on s'arrête essoufflé, incapable de faire un pas, en proie à des palpitations violentes, asphyxié, éreinté, mais surtout incapable de faire un pas, de soulever la jambe. On souffre du mal des montagnes dans toute sa perfection. Or, dans ce cas, le travail opéré n'est pas très-considérable; il est loin d'épuiser la réserve des matériaux combustibles de l'organisme. Mais ce travail se fait très-rapidement; c'est en quelques minutes que ce déploiement de forces s'exécute; il épuise la réserve d'oxygène, et alors même que l'air n'est pas raréfié comme il l'est sur une haute montagne, nous sommes asphyxiés. (P. 92.)

Le mémoire auquel nous venons de faire ces emprunts contient les récits fort intéressants d'ascensions faites par M. Forel au Gorner-Graat (le 4 juillet 1873; 3136^{m}), et à la *Sattel Tolle*, sur le mont Rose (le 7 juillet 1873; 4300^{m}). Chose curieuse, mais qui n'étonnera pas trop nos lecteurs, notre voyageur souffrit bien évidemment du mal des montagnes dans la première ascension, et ne fut que très-peu indisposé pendant la seconde, dans laquelle cependant il monta beaucoup plus haut.

Voici, en effet, ce qu'il dit de son voyage au Gorner-Graat:

5^{h}45^{m}. Dans mon lit à Zermatt, $\theta = 36°,75$.
11^{h}45^{m}. Arrivée à l'hôtel du Riffel : 38°,62.
1^{h}45^{m}. Après déjeuner, 37°,70.

Promenade au Gorner-Graat. Marche très-lente jusqu'au col du Riffel (2780^{m}). J'y suis fortement influencé par le mal des montagnes. Gêne respiratoire. Flatulence. Nausées. Céphalalgie. Sommeil. Pouls très-petit. Respiration 24, très-large. Pouls 93.

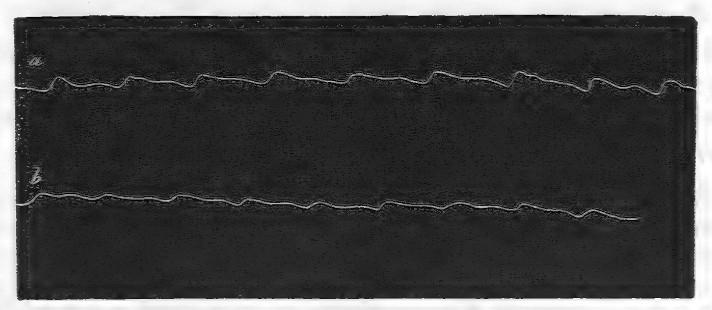


Fig. 82. — Pouls au col du Riffel (2780^{m}), pendant le mal des montagnes (ascension du 4 juillet).

Je prends un tracé sphygmographique (fig. 81).

Impulsion du cœur très-faible, très-lente, dicrotisme. Pouls misérable.

Sieste d'une demi-heure.

En route pour le Gorner-Graat, pouls 144. Je bois quelques gouttes d'eau de cerises et le malaise disparaît.

4h20m. Arrivée au sommet du Gorner-Graat (3136m). 38°,36c.

Pouls 126, respiration 30 (P. 109.)

Au contraire, l'ascension de la Sattel Tolle fut très-peu pénible :

1h20m : 2509m. Réveil à l'hôtel du Riffel : $\theta = 37°,10$.

4h30m : 2850m. Temp. 38°,14 ; pouls 80 ; resp. 34.

6h : 3300m. Au-dessus de ce point, je commence à souffrir de gêne respiratoire, de céphalalgie, j'ai la tête comme cerclée. Notre ascension est très-lente en partie à cause de cette oppression, en partie à cause de l'état détestable de la neige où nous enfonçons à chaque pas jusqu'aux genoux.

6h35m. La gêne respiratoire s'accentue; temp. 38°,44; pouls 100; resp. 32.

7h45m : 3700m. Pendant la montée ; temp. 38°,25 ; pouls 102 ; resp. 42.

8h7m : 3800m. Quelques nausées; 3e déjeuner; pouls 80; resp. 24, dyspnée.

Nous commençons la montée de la *Botzer Tolle*, que nous faisons tout d'une traite, sauf une halte de quelques minutes à moitié hauteur. Au fur et à mesure de cette montée je vois disparaître l'un après l'autre la plupart des symptômes du mal des montagnes dont je souffrais auparavant.

9h50m : 4300m. A la Sattel Tolle, halte; temp. 38°,59c; pouls 80; resp. 38.

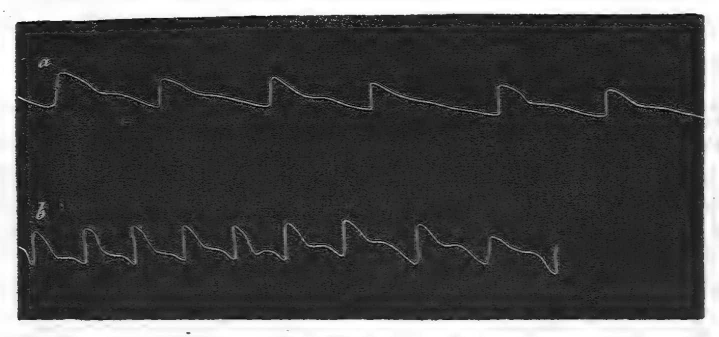


Fig. 83. — Pouls à la Sattel-Tolle (4300m) : en arrivant (*a*); après une demi-heure de repos relatif (*b*) (ascension du 7 juillet).

10h. Ibid.; pouls 70.

10ʰ35ᵐ. Pouls de 104 à 120; 4ᵉ déjeuner.

10ʰ50ᵐ. Grande irrégularité du pouls qui est à 86; celui de mes guides est à 102 et 108, irréguliers.

Descente :

3ʰ. Arrivée au Riffel.

4ʰ. Temp. 37°,87; pouls 93; resp. 28.

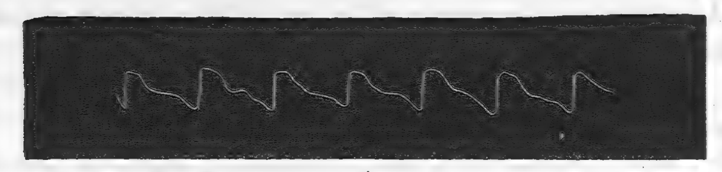


Fig. 84. — Pouls au Riffel (2569ᵐ), repos au retour (ascension du 7 juillet).

3ʰ45ᵐ du matin, à Zermatt (1620ᵐ) dans mon lit; temp. 37°,32. (P. 102.)

J'ajoute ici, comme terme de comparaison, un tracé sphygmographique pris par M. Forel à son retour à Morges (380ᵐ) le 10 juillet.

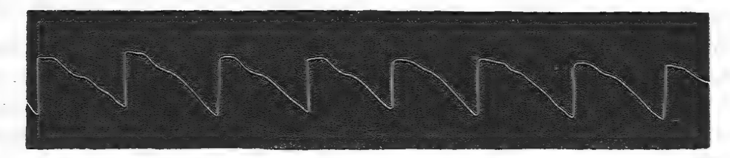


Fig. 85. — Pouls à Morges (380ᵐ), repos absolu (10 juillet).

M. Forel attribue les différences entre les souffrances des deux ascensions à l'habitude de la montagne, à l'entraînement dû aux trois journées de séjour au Riffel (2500ᵐ) :

Chaque année, dit-il, j'ai plus souffert dans ma première ascension de l'été que dans les courses subséquentes. Ainsi, en 1865, j'ai été très-fortement éprouvé par le mal des montagnes sur le col du Géant à 3400 mètres. C'était ma première ascension; mais six jours après, entraîné que j'étais par les passages successifs des cols du Géant, de Joux, de la Ranzola, d'Ollen et du Turlo, j'ai fait le passage de Weissthor, 3610 mètres, sans souffrir aucunement de l'influence de l'altitude. (P. 108.)

Nous avons fait nous-même des réflexions analogues (V. p. 336).

La disparition des accidents pendant l'ascension de la *Bot-*

zer Tolle est un fait des plus intéressants ; M. Forel l'explique d'une manière fort originale :

En préparant ma course, j'avais eu soin de m'informer auprès de toutes les personnes qui connaissaient le mont Rose du point où l'on souffre le plus du mal des montagnes. Il est en effet connu que chaque montagne a sous ce rapport sa localité spéciale ; ce n'est pas en général sur la cime, bien aérée et bien ventée, sur les arêtes dangereuses ou intéressantes que le mal se fait ressentir le plus ; c'est surtout dans des rampes neigeuses, encaissées, bien protégées contre les vents et ennuyeuses ; je citerai comme exemple le *corridor* du mont Blanc. Tous les rapports qui me furent faits étaient unanimes ; c'était sur la Botzer Tolle, avant d'arriver au Sattel, que tous les voyageurs, et même souvent les guides, étaient éprouvés. Sur l'arête du sommet, au contraire, personne ne pense à souffrir du mal des montagnes. Je me préparai donc à étudier soigneusement cette Botzer Tolle. Je m'en fis indiquer le commencement par les guides, et je me forçai depuis son origine à monter rapidement et sans arrêt, de manière à exagérer par la fatigue les symptômes dont je souffrais avant de l'aborder. Mais, chose étrange, je vis ces symptômes disparaître l'un après l'autre ; à mesure que je dirigeais spécialement mon attention sur l'un d'eux, je le sentais s'évanouir. La fatigue, la lassitude, la dépression, la céphalalgie me laissèrent ainsi l'une après l'autre, et j'enlevai ce passage ennuyeux en parfaitement bon état, à la stupéfaction de mes guides qui m'avaient vu péniblement affecté dans des régions beaucoup moins fatales aux autres voyageurs. L'attention, l'intérêt scientifique a donc eu pour moi dans ce cas le même effet curatif que possède le danger ; personne ne souffre du mal des montagnes dans les passages dangereux.

Cette action du moral et de l'attention particulière, sur le mal des montagnes, doit être signalée, et mérite d'être considérée plus qu'on ne l'a fait jusqu'à présent dans l'étude de ce mal. Je me borne à l'indiquer ici. (P. 110.)

La température du corps, on le voit par les chiffres plus haut cités, s'est maintenue à son degré primitif, ou même s'est élevée au-dessus, pendant les efforts musculaires ; en tout cas, il n'a pas été constaté de diminution. Mais il faut dire que, précisément pendant l'accès du mal des montagnes, c'est-à-dire au moment intéressant, l'examen de la température n'a pas été fait. M. Forel, qui fait lui-même remarquer cet oubli, donne « cette négligence comme une preuve du trouble physique et mental qu'il ressentait alors » (p. 109).

Deux voyageurs anglais, ayant lu le travail du docteur Fo-

rel, publièrent les notes qu'ils avaient antérieurement prises, sur les variations de leur température buccale pendant les ascensions en montagne.

M. Thorpe[1] est arrivé à des résultats négatifs. Son voyage ascensionnel a consisté à monter de Catane à Zaffarana : la température buccale s'est montrée invariable, 98°,4 F.; le pouls était passé de 78 à 83.

M. Tempest Anderson[2], au contraire, dit avoir observé un notable abaissement de la température buccale pendant l'acte même de l'ascension ; il affirme s'être mis à l'abri de toutes causes d'erreur et s'être préalablement bien exercé aux observations thermométriques : le thermomètre restait cinq minutes sous la langue. Voici le résumé de ses observations, faites dans les collines du Yorkshire :

	Heure.	Hauteur. (Pieds angl.)	Temp. (Th. F.)
Au lit	7h,30	900	97°,7
Avant de partir, ayant froid	9h,40	id	97°,6
Après une marche en plaine de un mille, et une ascension rapide de 1000 pieds, fatigué, ayant chaud, suant, et avant de m'arrêter	11h,20	1900	96°,4
Assis, après 10 minutes, ni chaud ni froid	11h,30	id	98°,2
Ascension rapide jusqu'au sommet, où j'arrive en sueur, ne pouvant plus respirer	12h	2414	97°,6
Assis, ayant un peu mangé, et trouvant le vent froid	12h,37	id	99°,3
Rapide descente de 1000 pieds, ayant chaud, sans m'arrêter	1h,10	1400	98°,0
Traversé la vallée pour monter sur le Grageth; après 500 pieds d'ascension, ayant chaud, suant, et sans m'arrêter	2h,17	1900	96°,4
Assis	2h,24	id	97°,6
Id.	2h,33	id	98°,6
Au sommet du Grageth, marchant lentement	2h,52	2250	98°,2
Assis, ayant froid	3h,12	id	98°,4
Après avoir descendu rapidement 1000 pieds	2h,55	1200	98°,0
Assis	4h, 5	id	98°,0
A l'auberge du « George and Dragon »	9h,50	500	97°,9

[1] *On the temperature of the human Body during mountain Climbing.* — *Nature*, t. XII, p. 165, 1875.

[2] *Temperature of the Body in mountain Climbing.* — *Nature*, t. XII, p. 186, 1875.

Ainsi le minimum de température 96°,4 a été observé pendant la marche ascensionnelle, en pleine sueur, avec sensation de chaleur.

Je pense avec le docteur Marcet, que c'est le fait de l'ascension et non l'altitude en elle-même qui influence la température.

Une même théorie peut, selon M. Anderson, embrasser les cas en apparence contradictoires, comme ceux de M. Marcet et de M. Forel. La machine humaine n'a point, dit-il, chez tous les hommes, le même rendement. La quantité de chaleur nécessaire pour obtenir le travail de l'ascension, peut, chez certains individus, être développée grâce à une plus grande activité dans les combustions; il se peut que d'autres soient incapables de ce surcroît d'oxydation :

Dans la première classe on placerait M. Forel ; dans l'autre, celle des faibles combureurs, je me range avec l'honorable compagnie des docteurs Marcet et Lortet.

TABLEAU XXI.

HAUTEUR	HEURES	TEMPÉRATURE DE L'AIR	CALBERLA (26 ANS)		PETER BOHREN (54 ANS)			PETER MULLER (52 ANS)		
			TEMPÉRATURE	PULSATIONS	TEMPÉRATURE	PULSATIONS	RESPIRATIONS	TEMPÉRATURE	PULSATIONS	RESPIRATIONS
mètres	h. m.									
1638	12 30		37°,0	80		76	16		80	18
2799	3 15	+2°,0		104	36°,8	100	28	37°,4	108	28
3081	4 50	−1,4	37,4	100		96	30		108	28
3302	5 55	−1,6		112	37,0	104	30	37,2	104	30
3521	6 50	+1,8	37,2	108		108	30		112	32
3780	8	+2,0		108	36,8	112	26	37,0	112	30
3817	8 50	+4,5	37,4	112		108	26		112	28
4008	9 37	+4,8		124	36,8	116	32	37,5	120	30
4358	10 45	+3,6	37,5	132		116	30		120	28
4271	11 (Halte.)	+4,1		92	36,4	88	20	37,0	100	22
4462	11 50	+0,2	37,2	112		112	28		116	30
4553	12 6	−0,4		136	36,8	120	30	37,2	124	34
4695	12 55 (Ar. au sommet)	+3,8	37,4	124	37,2	120	28	37,2	124	34
4663	2 (Après repos.)	+4,8	36,8	88	36,8	80	18	36,8	96	20
4574	3 55	+4,6		124	37,0	96	24	37,2	116	28
5012	5 20	+5,2	37,4	140		128	32		128	36
1644	9 30		36,8	92	36,9	88	18	37,2	92	18

Un voyageur allemand, Calberla [1], a publié des observations du même ordre prises sur le mont Rose. Ci-contre est un tableau (tableau XXI) qui résume les observations faites sur lui-même et sur deux guides; les températures ont été prises dans le rectum, pendant la marche même.

Les variations des respirations et des pulsations sont en rapport avec tout ce qu'on connaissait déjà. Quant aux températures, on voit qu'elles ont oscillé, pour Calberla et P. Müller, de 36°,8 à 37°,5; pour P. Bohren, de 36°,4 à 37°,2. Pendant l'ascension, la température s'est toujours élevée; le minimum observé a été pendant une halte, à 4371 mètres, ou après le repos au sommet du mont Rose, la température de l'air étant de + 4°,8.

Le professeur L. Thomas, dans une note jointe au Mémoire de Calberla, déclare avoir mesuré sa température sous la langue pendant plusieurs années au Roccia Melone (3550 mètres), au Levanna (3750 mètres), au grand Pelvoux (3954 mètres), sans jamais avoir constaté d'abaissement de la température par le fait de l'ascension.

Mais il convient de faire remarquer que toutes ces observations laissent entière la question de savoir ce qu'il adviendrait si les observateurs avaient réellement souffert de l'altitude; il reste donc encore un point obscur, et sur lequel j'appelle l'attention des voyageurs scientifiques : la température diminue-t-elle par l'acte de l'ascension, pendant l'état bien prononcé de mal des montagnes? Mais je dois insister à nouveau sur les précautions à prendre dans l'emploi du thermomètre buccal : deux minutes d'application sous la langue sont pour le moins nécessaires, suivant les observations de M. Thorpe. Et encore les causes d'erreur (voy. p. 300) sont telles, que le mieux est de prendre la température dans le rectum, à l'aide de thermomètres à maxima.

Je citerai encore, comme document intéressant pour notre sujet, quelques extraits d'une lettre que j'ai reçue de M. le docteur Ward, qui fut attaché, à titre médical, aux travaux

[1] *Ueber das Verhalten der Körpertemperatur bei Bergbeistungen. Arch. der Heilkunde*, XVI, p. 276-281, 1875.

du chemin de fer qui traverse les Andes, du Callao à la Oroya :

Presque tous les ouvriers qui ont travaillé au tunnel, excepté les indigènes nés dans la montagne, ont souffert plus ou moins durement de la diminution de pression ; cependant ils se sont presque tous assez rapidement accoutumés à cette influence, c'est-à-dire après une ou deux semaines. Les animaux souffraient comme les hommes.

Les natifs sont des hommes courts et trapus, avec une capacité pulmonaire immense, comme le prouvent les mesures suivantes, prises sur la peau nue, au niveau des mamelons.

Age.	Taille.	Circonférence de la poitrine.
14 ans. .	4 pieds 10 pouces	36 pouces
24 —. .	5 — 6 1/2	35
21 —. .	5 — 4	35
16 —. .	5 — »	34 1/2
30 —. .	5 — 4 1/2	30 1/2

Ces hommes mangent du blé sec, de la coca, du sucre grossier, des pommes de terre, avec peu ou plus souvent point de viande. Avec une poignée de grain et de coca, ils peuvent travailler toute une journée sans donner signe de fatigue.

M. Malinowski, ingénieur à Lima, en m'envoyant la lettre du docteur Ward, ajoute :

Un Américain du Nord, aide-ingénieur, ayant été un jour faire une visite au tunnel, y fut attaqué du *sorroche* d'une manière très-violente. On s'empressa de le faire transporter vers un endroit moins élevé de 1000 mètres environ, mais il expira bientôt.

M. le docteur Vacher[1] a publié une intéressante étude sur les stations médicales de Davos (1650 mètres), dans les Grisons, et du mont Dore, en Auvergne (1050 mètres). Il constate, comme beaucoup de ses prédécesseurs, l'immunité pour la phthisie de la population de ces hauts lieux, et étudie la question du traitement par la *cure des hauteurs* de cette redoutable maladie. Pour ce qui nous intéresse ici, nous ne relèverons que les observations suivantes :

1° A Davos, le nombre des mouvements cardiaques est sensiblement plus élevé que dans la plaine ; à Paris, mon pouls donne 69 pulsations ;

[1] *Le mont Dore; Davos. Étude médicale et climatologique.* — Paris, 1875.

à Davos, 78. C'est à ce phénomène qu'on a donné le nom assez impropre de fièvre d'altitude.... Il persiste pendant toute la durée du séjour dans la station, ce qui le distingue des phénomènes d'excitation produits par les eaux minérales. . . . .

2° Les fonctions du poumon sont également modifiées dans ce milieu raréfié, où l'on constate une amélioration notable des mouvements respiratoires. Le docteur Spengler déclare expressément que, dans l'atmosphère de Davos, le poumon supplée au déficit d'oxygène par des inspirations plus profondes et plus lentes que dans les conditions normales de pression. Il est bien vrai qu'à l'altitude de 1650 mètres il y a dans l'air un déficit notable d'oxygène, mais l'observation prouve que ce n'est pas par des inspirations plus profondes et plus prolongées que le poumon y supplée, mais par des mouvements respiratoires plus fréquents. A Davos, où je me suis observé avec soin pendant plusieurs jours, j'ai constaté 18,2 mouvements respiratoires par minute, tandis qu'à Paris, je n'en compte que 16,6 (p. 12).

Comme premier signe d'amendement des symptômes thoraciques dans la phthisie, on observe à Davos un accroissement de la capacité respiratoire, mesurée à l'aide du spiromètre, instrument couramment employé dans cette station (p. 13).

C'est le 22 mars 1874 que Crocé-Spinelli et Sivel firent leur premier voyage à grande hauteur, dans lequel, encouragés par le résultat des tentatives faites dans nos cylindres (V. p. 754), ils emportèrent des ballonnets d'oxygène, afin de combattre en respirant ce gaz les effets de la décompression. L'*Étoile polaire*, qu'ils montaient, aérostat de 2800 mètres cubes, les porta en deux heures à 7300 mètres de hauteur. Je reproduis ici la partie de leur récit[1] qui touche à notre sujet :

Nous ressentîmes dans notre voyage, disent-ils, des impressions analogues à celles que nous avions éprouvées dans les cloches à dépression de M. Bert, où nous étions entrés quelques jours avant l'ascension pour descendre jusqu'à la pression de 304 millimètres. Cependant, dans la nacelle, où nous arrivâmes à 300 millimètres, le malaise était bien plus vif que dans la cloche, ce qui doit être attribué au travail plus considérable effectué, au grand abaissement de la température et à la durée du séjour dans les couches élevées. Tandis que dans la nacelle, nous avons subi un froid de 22 à 24 degrés, nous n'avions qu'une température constante de + 13° pendant la dépression à terre ; de plus, le séjour dans la cloche ne fut que d'une heure, ce qui est presque la durée des ascensions à grande hauteur au-dessus de 7000 mètres, tandis que nous restâmes 2 heures 40

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXVIII, p. 946 et 1060 ; 1874.

minutes en l'air, et 1 heure 45 minutes au-dessus de 5000 mètres. Ajoutons que dans la cloche, l'oxygène pur que nous inspirions nous produisit des étourdissements analogues à ceux de l'ivresse, et qu'au contraire nous nous trouvâmes très-bien des deux mélanges, l'un à 40 pour 100 d'oxygène et 60 pour 100 d'azote, et l'autre à 70 pour 100 d'oxygène et 30 pour 100 d'azote, que M. Bert nous avait fournis pour notre ascension.

Nous commençâmes à respirer le mélange à 40 pour 100 à partir de 3600 mètres et jusqu'à 6000 mètres; nous eûmes recours à celui de 70 pour 100 dans les grandes hauteurs, parce que le moins riche était insuffisant, surtout pour M. Crocé-Spinelli. Dans les régions les plus raréfiées, nous dûmes tous deux laisser dans la bouche les tuyaux de caoutchouc qui correspondaient aux ballonnets. Nous respirions ainsi de temps en temps, en ayant soin de serrer avec les dents l'ajutage élastique quand nous nous sentions mieux. Lorsque M. Sivel jetait du lest, ce qui l'empêchait de respirer du gaz, les sacs de 15 kilogrammes lui semblaient en peser 100.

Pour M. Crocé-Spinelli, tempérament lymphatico-nerveux, les effets étaient bien autrement marqués que pour M. Sivel, homme très-vigoureux, de tempérament sanguin. Lorsque le premier ne respirait plus d'oxygène, il était obligé de s'asseoir sur un sac de lest et de faire ses observations, immobile dans cette position. Pendant l'absorption du gaz comburant, il se sentait renaître, et après une dizaine d'inspirations, il pouvait se lever, causer gaiement, regarder le sol avec attention et faire les observations délicates. L'esprit était précis et la mémoire excellente. Pour voir dans le spectroscope, il lui fallait inspirer ce gaz, justement appelé *vital;* les raies, d'abord confuses, devenaient alors très-nettes.

L'oxygène produisit encore chez M. Crocé-Spinelli un effet dont l'explication est facile, après ce qui vient d'être dit. Pour réagir contre les effets combinés du froid et de la raréfaction, il essaya de manger. Le résultat ne fut d'abord pas favorable; mais, ayant eu l'idée de respirer en même temps de l'oxygène, il sentit l'appétit revenir et la digestion s'opérer facilement. Quant au pouls, il marquait chez lui entre les hauteurs de 6560 et 7400 mètres, 140 pulsations avant l'absorption, et 120 tout de suite après. Son pouls, à terre, est de 80 en moyenne.

Nous n'eûmes, ni l'un ni l'autre, ces saignements de nez, des lèvres et des oreilles dont s'était plaint Gay-Lussac[1], bien que la face fût devenue très-rouge et les muqueuses presque noires. Nous ressentîmes, par moments, comme dans la cloche, de la chaleur à la face et des picotements dans la tête. Le front, par instants, semblait serré comme dans un étau, et l'on avait la sensation d'une barre dure, de faible diamètre, que l'on appuierait très-fortement au-dessus du sourcil. Une inspiration d'oxygène faisait disparaître en grande partie les sensations douloureuses.

[1] M. Crocé-Spinelli a reproduit ici une version accréditée à tort. Gay-Lussac n'a eu à souffrir d'aucune hémorrhagie. (Voy. plus haut, p. 189.)

La descente s'opéra presque sans lest et sans oxygène; la provision, dont M. Crocé-Spinelli avait absorbé presque les deux tiers, était épuisée. Vers 4000 mètres, alors que la température était remontée à — 7°, M. Sivel fut pris d'un tremblement très-fort et d'un malaise extrême. Sa figure était contractée, et sa bouche était ouverte avec un certain rictus. Son compagnon, moins vigoureux cependant, ne ressentait alors qu'un froid très-sensible produit par le passage rapide dans l'air. Tandis qu'à — 22° nous ne ressentions tous deux qu'une sensation de froid assez faible, parce que l'air était calme, nous grelottions dans la descente rapide. Il y avait d'ailleurs certainement une autre cause du malaise de M. Sivel: peut-être avait-il trop travaillé. Ce malaise disparut à 2500 mètres.

Nous avions des compagnons de nacelle : nous possédions, en effet, des pigeons voyageurs qui nous avaient été prêtés par M. Van Roosbecke. Quatre pigeons, choisis parmi les meilleurs coureurs, se trouvaient dans une cage, avec la plume préparée qui devait recevoir la dépêche. Ils semblaient fort mal à l'aise dans les hautes régions; ils s'appuyaient sur le ventre et avaient les paupières baissées.

Le premier pigeon fut lancé à 5000 mètres, une demi-heure après le départ. Il commença par battre des ailes, se soutint quelque temps en cherchant à remonter sur sa cage, puis, voyant que ses efforts étaient vains, il descendit les ailes étendues, en décrivant des courbes de 200 à 300 mètres de diamètre, et cela avec une effrayante vitesse de translation d'environ 40 à 50 mètres par seconde. C'est le seul qui soit revenu avec sa dépêche, et cela après avoir mis plus de 30 heures pour arriver à sa destination. Le second, lancé après le départ, vers 5200 mètres, se comporta de même. Il eut cependant la force de remonter en volant sur sa cage.

Nous appelons tout spécialement l'attention sur les effets favorables des respirations oxygénées. Retour des forces et de l'appétit, diminution des douleurs de tête, rétablissement de la vision nette, du sang-froid, de la présence d'esprit, tous les phénomènes déjà observés dans les cylindres de mon laboratoire se reproduisirent avec une sûreté qui, dans ces circonstances dramatiques, frappa fortement l'opinion et inspira aux deux aéronautes une confiance poussée jusqu'à l'imprudence, et qui leur devint fatale.

Le 15 avril 1875, ils repartaient pour une nouvelle ascension à grande hauteur, emmenant avec eux M. Gaston Tissandier. Au cercle de l'aérostat étaient attachés trois ballonnets remplis d'un mélange à 72 pour 100 d'oxygène. Ces ballonnets, je puis le dire aujourd'hui, étaient d'une capacité

tout à fait insuffisante. J'étais alors absent de Paris, et prévenu par une lettre de Crocé-Spinelli de leur prochain voyage, lettre dans laquelle il m'indiquait la quantité d'oxygène qu'ils allaient emporter (elle devait être, je crois, de 150 litres), je lui en fis remarquer l'insuffisance. « Dans les hauts lieux où cette respiration artificielle vous sera indispensable, lui disais-je, vous devez compter, pour trois hommes, sur une consommation d'au moins 20 litres par minute; voyez comment votre provision sera vite épuisée ! » Ma lettre arrivait, paraît-il, trop tard; le jour de l'ascension était fixé, et l'on tira simplement de mes observations cette conclusion qui fut si funeste, qu'il fallait attendre l'extrême nécessité pour faire usage des ballonnets. On sait ce qui advint : quand les aéronautes, sentant l'asphyxie les gagner, voulurent saisir les tubes sauveurs, leurs bras étaient paralysés.

M. Gaston Tissandier, le seul survivant de la catastrophe du *Zénith*, en a écrit[1] une narration saisissante et à laquelle nous allons faire de larges emprunts :

Le jeudi 15 avril 1875, à 11h 35m du matin, l'aérostat *le Zénith* s'élevait de terre à l'usine à gaz de la Villette. Crocé-Spinelli, Sivel et moi avions pris place dans la nacelle. Trois ballonnets remplis d'un mélange d'air à 70 pour 100 d'oxygène étaient attachés au cercle. A la partie inférieure de chacun d'eux, un tube de caoutchouc traversait un flacon laveur rempli d'un liquide aromatique. Cet appareil, dans les hautes régions de l'atmosphère, devait fournir aux voyageurs le gaz comburant nécessaire à l'entretien de la vie. Un aspirateur à retournement rempli d'essence de pétrole, que l'abaissement de température ne peut solidifier, était suspendu en dehors de la nacelle; il allait être arrimé verticalement à 3000 mètres d'altitude pour faire passer de l'air dans les tubes à potasse destinés aux dosages de l'acide carbonique. . . . .
. . . .

On part, on s'élève au milieu d'un flot de lumière, emblème de la joie, de l'espérance !...

Trois heures après le départ, Sivel et Crocé-Spinelli allaient être trouvés inanimés dans la nacelle ! Au delà de 8000 mètres d'altitude, l'asphyxie a frappé de mort ces disciples de la science et de la vérité !

Il appartient à leur compagnon de voyage, miraculeusement échappé au trépas, de fermer un instant son cœur à la douleur, de chasser les tristes souvenirs et les sombres visions, pour rapporter les faits recueillis pen-

[1] Journal *la Nature*, n° du 1er mai 1875; 3e année, 1er semestre, p. 337-344.

dant l'exploration et pour dire ce qu'il sait de la mort de ses infortunés et glorieux amis. . . . .

. . . .

A 4300 mètres, nous commençons à respirer de l'oxygène, non pas parce que nous sentons encore le besoin d'avoir recours au mélange gazeux, mais uniquement parce que nous voulons nous convaincre que nos appareils, si bien disposés par M. Limousin, d'après les proportions indiquées par M. P. Bert, fonctionnent convenablement.

Je dois dire à ce sujet que mon cher et regretté Crocé-Spinelli avait insisté avec énergie pour que je fasse partie de l'ascension à grande hauteur, qu'il devait d'abord accomplir seul avec Sivel. M. Hervé-Mangon, président de la *Société de navigation aérienne*, et M. Hureau de Villeneuve, secrétaire général, n'approuvaient pas ce projet, dans la seule crainte, je me hâte de l'ajouter, de priver Sivel de la quantité de lest suffisante et dont ma présence devait diminuer le poids. Ces messieurs avaient cependant cédé aux pressantes instances de Crocé-Spinelli. Qui eût résisté au charme de sa parole entraînante et de son regard? « Mon ami Tissandier, me disait Crocé quelques jours après la première ascension du *Zénith*, soyez tranquille, vous partirez avec nous. Je ne vous quitte pas, ajoutait-il en me serrant dans ses bras. Il faut être trois pour faire une ascension en hauteur, pour mieux confirmer les résultats. Et qui sait? un accident peut survenir. Six bras valent mieux que quatre! D'ailleurs, il faut que vous respiriez l'oxygène, dans les hautes régions, pour affirmer comme nous que cela est efficace, que cela est nécessaire. »

Crocé-Spinelli avait un ardent amour de la vérité, et il ne pouvait admettre, lui si franc, si loyal, que l'on mît en doute ses affirmations. C'est à l'altitude de 7000 mètres, à $1^h 20^m$, que j'ai respiré le mélange d'air et d'oxygène, et que j'ai senti en effet tout mon être, déjà oppressé, se ranimer sous l'action de ce cordial; à 7000 mètres, j'ai tracé sur mon carnet de bord les lignes suivantes : *Je respire oxygène. Excellent effet.*

A cette hauteur, Sivel, qui était d'une force physique peu commune et d'un tempérament sanguin, commençait à fermer les yeux par moments, à s'assoupir même et à devenir un peu pâle. Mais cette âme vaillante ne s'abandonnait pas longtemps aux mouvements de la faiblesse : il se redressait avec l'expression de la fermeté; il me faisait vider le liquide contenu dans mon aspirateur après mon expérience, et il jetait le lest pardessus bord pour atteindre des régions plus élevées. Sivel avait été l'an dernier à 7300 mètres, avec Crocé-Spinelli. Il voulait, cette année, monter à 8000 mètres, et quand Sivel voulait, il eût fallu de bien grands obstacles pour entraver ses desseins.

Crocé-Spinelli avait depuis longtemps l'œil fixé au spectroscope. Il paraissait rayonnant de joie, et s'était écrié déjà : « Il y a absence complète des raies de la vapeau d'eau. » Puis, après avoir fait entendre ces paroles, il s'était mis à continuer ses observations avec une telle ardeur, qu'il m'avait prié d'inscrire sur mon carnet le résultat des lectures du thermomètre et du baromètre.

Pendant le cours de cette ascension rapide, au milieu d'occupations multiples, il nous a été difficile d'apporter aux observations physiologiques l'attention qu'elles nécessitent. Nous réservions nos forces à cet égard, pour le moment où nous serions plongés dans l'air des régions supérieures, sans soupçonner le dénoûment funeste qui allait paralyser nos efforts. Il nous a été possible cependant d'obtenir les résultats suivants, que nous enregistrons d'après les carnets de bord :

Heure.	Altitude.	
12 h. 48	4602^{m}	Tissandier, 110 pulsations à la minute.
12 h. 55	5210^{m}	Crocé, température buccale 37°,50.
1 h. 03	5300^{m}	Crocé, 120 pulsations à la minute.
1 h. 05	5300^{m}	Tissandier, nombre d'inspirations déterminées par Crocé, 26.
Id.	Id.	Sivel, 155 pulsations à la minute.
Id.	Id.	Id. température buccale 37°,90.

Voici la moyenne des observations qui avaient été recueillies précédemment à terre pendant plusieurs jours consécutifs :

	Pulsations à la minute.	Inspirations à la minute.	Température buccale.
Crocé-Spinelli. . .	74 à 85	24	37°,3
Sivel.	76 à 86	inconnu	37°,5
Tissandier.	70 à 80	19 à 23	37°,4

. . . .

J'arrive à l'heure fatale où nous allions être saisis par la terrible influence de la dépression atmosphérique. A 7000 mètres nous sommes tous debout dans la nacelle ; Sivel, un moment engourdi, s'est ranimé ; Crocé-Spinelli est immobile en face de moi. « Voyez, me dit ce dernier, comme ces cirrhus sont beaux! » C'était beau, en effet, ce spectacle sublime qui s'offrait à nos yeux. Des cirrhus, de formes diverses, les uns allongés, les autres légèrement mamelonnés, formaient autour de nous un cercle d'un blanc d'argent. En se penchant au dehors de la nacelle on apercevait, comme au fond d'un puits, dont les cirrhus et la buée inférieure eussent formé les parois, la surface terrestre qui apparaissait dans les abîmes de l'atmosphère. Le ciel, loin d'être noir et foncé, était d'un bleu clair et limpide ; le soleil ardent nous brûlait le visage. Cependant le froid commençait à faire sentir son influence, et nous avions, antérieurement déjà, placé nos couvertures sur nos épaules. L'engourdissement m'avait saisi, mes mains étaient froides, glacées. Je voulais mettre mes gants de fourrure; mais sans en avoir conscience, l'action de les prendre dans ma poche nécessitait, de ma part, un effort que je ne pouvais plus faire.

A cette hauteur de 7000 mètres, j'écrivais cependant presque machinalement sur mon carnet; je recopie textuellement les lignes suivantes, qui ont été écrites sans que j'en aie actuellement le souvenir bien précis;

elles sont tracées d'une façon peu lisible, par une main que le froid devait singulièrement faire trembler :

« *J'ai les mains gelées. Je vais bien. Nous allons bien. Brume à l'horizon avec petits cirrhus arrondis. Nous montons. Crocé souffle. Nous respirons oxygène. Sivel ferme les yeux. Crocé aussi ferme les yeux. Je vide aspirateur. Temp.* — 10°. 1 *h.* 20, *H.* 320. *Sivel est assoupi....* 1 *h.* 25, *temp.* — 11°, *H* = 300. *Sivel jette lest. Sivel jette lest.* » (Ces derniers mots sont à peine lisibles.)

Sivel, en effet, qui était resté quelques instants, comme pensif et immobile, fermant parfois les yeux, venait de se rappeler sans doute qu'il voulait dépasser les limites où planait alors le *Zénith.* Il se redresse, sa figure énergique s'éclaire subitement d'un éclat inaccoutumé ; il se tourne vers moi et me dit : Quelle est la pression ? — 30° (7450 mètres d'altitude environ). — Nous avons beaucoup de lest, faut-il en jeter ? — Je lui réponds : Faites ce que vous voudrez. — Il se tourne vers Crocé et lui fait la même question. Crocé baisse la tête avec un signe d'affirmation très-énergique.

Il y avait dans la nacelle au moins cinq sacs de lest ; il y en avait encore à peu près autant, pendus en dehors par leurs cordelettes. Ceux-ci, nous devons l'ajouter, n'étaient plus entièrement remplis ; Sivel avait certainement su estimer leur poids, mais il nous est impossible de rien fixer à cet égard.

Sivel saisit son couteau et coupe successivement trois cordes ; les trois sacs se vident et nous montons rapidement. Le dernier souvenir bien net qui me soit resté de l'ascension remonte à un moment un peu antérieur. Crocé-Spinelli était assis, tenant à la main le flacon laveur du gaz oxygène ; il avait la tête légèrement inclinée et semblait oppressé. J'avais encore la force de frapper du doigt le baromètre anéroïde pour faciliter le mouvement de son aiguille ; Sivel venait de lever la main vers le ciel, comme pour montrer du doigt les régions supérieures de l'atmosphère. La figure 86 reproduit le plus exactement possible l'aspect de la nacelle du *Zénith* à cet instant solennel.

Mais je n'avais pas tardé à garder l'immobilité absolue, sans me douter que j'avais déjà peut-être perdu l'usage de mes mouvements. Vers 7500 mètres, l'état d'engourdissement où l'on se trouve est extraordinaire. Le corps et l'esprit s'affaiblissent peu à peu, graduellement, insensiblement, sans qu'on en ait conscience. On ne souffre en aucune façon ; au contraire. On éprouve une joie intérieure, et comme un effet de ce rayonnement de lumière qui vous inonde. On devient indifférent; on ne pense plus ni à la situation périlleuse ni au danger; on monte et on est heureux de monter. Le vertige des hautes régions n'est pas un vain mot. Mais autant que je puis en juger par mes impressions personnelles, ce vertige apparaît au dernier moment ; il précède immédiatement l'anéantissement, subit, inattendu, irrésistible.

Lorsque Sivel eut coupé les trois sacs de lest, à l'altitude de 7450 mètres environ, c'est-à-dire sous la pression 300 (c'est le dernier chiffre que



Fig. 86. — La nacelle du *Zénith* dans les hautes régions de l'atmosphère.

SIVEL coupe les cordelettes qui retiennent à la nacelle les sacs de lest remplis de sable.

G. TISSANDIER observe les baromètres.

CROCÉ-SPINELLI après avoir fait les observations spectroscopiques, va respirer l'oxygène.

j'aie écrit alors sur mon carnet), je crois me rappeler qu'il s'assit au fond de la nacelle, et prit à peu près la position qu'avait Crocé-Spinelli. Quant à moi, j'étais appuyé dans l'angle de la nacelle, où je me soutenais grâce à cet appui. Je ne tardai pas à me sentir si faible que je ne pus même pas tourner la tête pour regarder mes compagnons.

Bientôt, je veux saisir le tube à oxygène, mais il m'est impossible de lever le bras. Mon esprit cependant est encore très-lucide. Je considère toujours le baromètre; j'ai les yeux fixés sur l'aiguille qui arrive bientôt au chiffre de la pression 290, puis 280 qu'elle dépasse.

Je veux m'écrier : « Nous sommes à 8000 mètres! » Mais ma langue est comme paralysée. Tout à coup je ferme les yeux et je tombe inerte, perdant absolument le souvenir. Il était environ 1 h. 30 m.

A 2 h. 8 m. je me réveille un moment. Le ballon descendait rapidement. J'ai pu couper un sac de lest pour arrêter la vitesse, et écrire sur mon registre de bord les lignes suivantes que je recopie :

« *Nous descendons; température — 8°; je jette lest, $H = 315$. Nous descendons. Sivel et Crocé encore évanouis au fond de la nacelle. Descendons très-fort.* »

A peine ai-je écrit ces lignes qu'une sorte de tremblement me saisit et je retombe affaibli encore une fois. Le vent était violent de bas en haut, et dénotait une descente très-rapide. Quelques moments après, je me sens secouer par le bras, et je reconnais Crocé, qui s'est ranimé. « Jetez du lest, me dit-il, nous descendons. » Mais c'est à peine si je puis ouvrir les yeux, et je n'ai pas vu si Sivel était réveillé.

Je me rappelle que Crocé a détaché l'aspirateur qu'il a lancé par-dessus bord, et qu'il a jeté du lest, des couvertures, etc. Tout cela est un souvenir extrêmement confus qui s'éteint vite, car je retombe dans mon inertie plus complétement encore qu'auparavant, et il me semble que je m'endors d'un sommeil éternel.

Que s'est-il passé? Il est certain que le ballon délesté, imperméable comme il l'était, et très-chaud, est remonté encore une fois dans les hautes régions.

A 3 h. 30 m. environ, je rouvre les yeux, je me sens étourdi, affaissé, mais mon esprit se ranime. Le ballon descend avec une vitesse effrayante; la nacelle est balancée fortement et décrit de grandes oscillations. Je me traîne sur les genoux et je tire Sivel par le bras ainsi que Crocé.

« Sivel! Crocé! m'écriai-je, réveillez-vous! »

Mes deux compagnons étaient accroupis dans la nacelle, la tête cachée sous leurs couvertures de voyage. Je rassemble mes forces et j'essaye de les soulever. Sivel avait la figure noire, les yeux ternes, la bouche béante et remplie de sang. Crocé avait les yeux à demi fermés et la bouche ensanglantée.

Raconter en détail ce qui se passa alors m'est impossible. Je ressentais un vent effroyable de bas en haut. Nous étions encore à 6000 mètres d'altitude. Il y avait dans la nacelle deux sacs de lest que j'ai jetés. Bientôt la terre se rapproche, je veux saisir mon couteau pour couper la cordelette

de l'ancre : impossible de le trouver. J'étais comme fou, je continuais à appeler : « Sivel ! Sivel ! »

Par bonheur, j'ai pu mettre la main sur un couteau et détacher l'ancre au moment voulu. Le choc à terre fut d'une violence extrême. Le ballon sembla s'aplatir et je crus qu'il allait rester en place, mais le vent était rapide et l'entraîna. L'ancre ne mordait pas et la nacelle glissait à plat sur les champs ; les corps de mes malheureux amis étaient cahotés çà et là, et je croyais à tout moment qu'ils allaient tomber de l'esquif. Cependant j'ai pu saisir la corde de soupape, et le ballon n'a pas tardé à se vider, puis à s'éventrer contre un arbre. Il était quatre heures.

En mettant pied à terre, j'ai été pris d'une surexcitation fébrile, et je me suis affaissé en devenant livide. J'ai cru que j'allais rejoindre mes amis dans l'autre monde.

Cependant je me remis peu à peu. Je suis allé auprès de mes malheureux compagnons, qui étaient déjà froids et crispés. J'ai fait porter leur corps à l'abri dans une grange voisine. Les sanglots m'étouffaient !

La descente du *Zénith* a eu lieu dans les plaines qui avoisinent Ciron (Indre), à 250 kilomètres de Paris à vol d'oiseau. . . . .

. . . .

Après avoir retracé l'histoire de l'ascension du *Zénith*, j'arrive aux deux points importants qui ont si vivement préoccupé l'attention du monde savant et du public.

Quelle est la hauteur maximum atteinte par le *Zénith?*

Quelle est la cause de la mort de Crocé-Spinelli et de Sivel?

La première question est aujourd'hui résolue par l'ouverture des tubes barométriques témoins, imaginés par M. Janssen, et déjà employés par Sivel et Crocé-Spinelli lors de leur ascension à 7300 mètres (22 mars 1874). . . . .

Un tube avait été cassé, quelques autres avaient éprouvé des accidents ou fonctionné mal, mais il y en a deux dont la marche a été régulière, et qui nous ont fourni des résultats concordants. Ils tendent à établir que la plus faible pression était de 264 à 262 millimètres, ce qui porte la hauteur maximum à 8540 et 8601 mètres (correction faite de la pression à la surface du sol).

Comme au moment de mon anéantissement, à 8000 mètres, l'aiguille du baromètre passait rapidement sur le chiffre de la pression 28 (8002 mètres) et indiquait ainsi une ascension d'une assez grande vitesse, j'ai la persuasion que nous avons atteint cette altitude de 8600 mètres, dès la première ascension. Après la première descente, Crocé-Spinelli et très-certainement Sivel vivaient encore; ils ont été frappés de mort quand le ballon a atteint une seconde fois les niveaux élevés qu'il venait de quitter, mais qu'il n'a pas dû dépasser, son poids et son volume ne lui permettant certainement pas de monter plus haut.

Il ne me semble pas douteux que la mort de ces infortunés est la conséquence de la dépression atmosphérique ; il est possible de supporter, pendant un temps de faible durée, l'action de cette dépression ; il est diffi-

cile d'en subir l'effet coup sur coup pendant près de deux heures presque consécutives. Notre séjour dans les hautes régions a été, en effet, bien plus long que celui d'aucune ascension précédente à grande hauteur. J'ajouterai que l'air particulièrement sec n'a peut-être pas été sans exercer une funeste influence.

On se demandera à présent quelle est la cause de mon salut. Je dois la vie probablement à mon tempérament particulier, essentiellement lymphatique, peut-être à mon évanouissement complet, sorte d'arrêt des fonctions respiratoires. J'étais à jeun au moment du départ, et je pensais d'abord que cette circonstance m'était particulière, mais j'ai eu depuis la preuve que si Sivel avait mangé, Crocé n'avait, comme moi, presque aucun aliment dans l'estomac.

La dépression est considérable à l'altitude de 8600 mètres, puisque la colonne mercurielle du baromètre n'est plus que de $0^m,26$ environ.

J'ai la persuasion que Crocé-Spinelli et Sivel vivraient encore, malgré leur séjour si prolongé dans les hautes régions, s'ils avaient pu respirer l'oxygène. Ils auront, comme moi, subitement perdu la faculté de se mouvoir. Les tubes abducteurs de l'air vital auront échappé de leurs mains paralysées! Mais ces nobles victimes ont ouvert à l'investigation scientifique de nouveaux horizons; ces soldats de la science, en mourant, ont montré du doigt les périls de la route, afin que l'on sache après eux les prévoir et les éviter.

M. G. Tissandier a essayé de représenter, par le diagramme ci-contre (fig. 87), la marche du ballon, qui a, comme on le voit, décrit dans l'espace une sorte de M gigantesque de 8600 mètres de hauteur. La partie ponctuée de la courbe représente la deuxième phase de l'ascension : il est probable qu'elle ne s'éloigne pas beaucoup du tracé véritable. C'est pendant cette partie du voyage que Crocé-Spinelli et Sivel ont perdu la vie, au milieu de ces déserts glacés des hautes régions atmosphériques !

Je crois utile de reproduire encore quelques extraits d'une note rédigée par M. Limousin[1], pharmacien distingué, qui avait été chargé de fournir l'oxygène nécessaire au gonflement des ballonnets :

Afin d'obvier à la rupture probable de la baudruche par suite de la dilatation du gaz à une grande altitude, 100 litres seulement du mélange (oxyg. 65 ; air 35) furent introduits dans chaque ballonnet dont la capacité était environ de 200 litres.

[1] *Les inhalations d'oxygène et l'ascension du* ZÉNITH. *Répertoire de pharmacie.* Avril 1875.

Pour neutraliser autant que possible la détestable odeur que la baudruche graissée communiquait au mélange gazeux, j'installai pour chaque voyageur de très-petits flacons laveurs munis d'un tube recourbé garni de caoutchouc qui permettait de les tenir à la bouche à la manière d'une pipe, laissant les mains libres de façon à pouvoir noter les observations

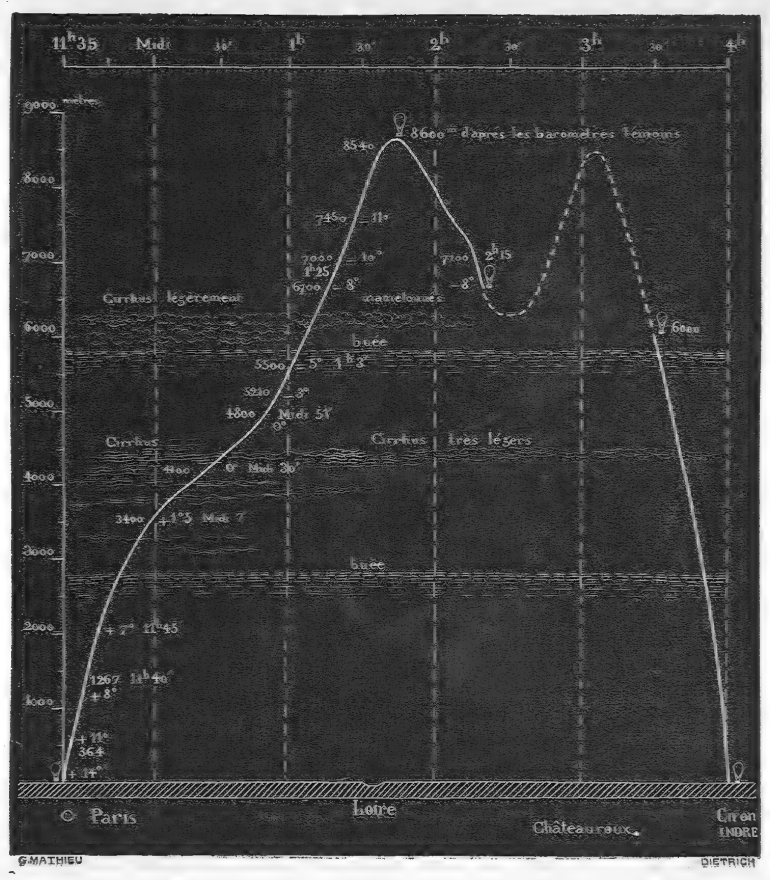


Fig. 87. — Diagramme de l'ascension à grande hauteur du 15 avril 1875.

sur un carnet. De cette façon, le gaz, traversant de l'eau aromatisée avec du benjoin, arrivait frais et parfumé dans les poumons. . . . .
. . . .

Malheureusement toutes ces précautions furent, sinon inutiles, au moins d'un bien mince secours. Par suite de la rapidité de leur marche ascensionnelle et de la soudaineté de l'évanouissement des aéronautes, les in-

halations ne purent être faites au moment où elles étaient le plus indispensables.

M. Gaston Tissandier, qui au début en avait éprouvé de bons effets, ne put, à un moment, trouver assez d'énergie pour élever la main à portée du tube d'aspiration. A son retour, il m'assura que lors de la descente de l'aérostat, qui eut lieu, comme on sait, à Ciron, près du Blanc, dans l'Indre, les ballonnets étaient attachés au-dessous de la nacelle contenant encore la plus grande partie de l'oxygène qu'on y avait introduit.

Ainsi donc, on le voit, le seul moyen qui pouvait conjurer la terrible



Fig. 88. — Sivel.

catastrophe qui a terminé cette ascension n'a pu être mis en œuvre....

. . . .

Chargé par la Société de navigation aérienne d'assister l'artiste qui doit exécuter les bustes des deux malheureux aéronautes, nous avons fait ouvrir les cercueils, à leur arrivée à la gare d'Orléans, le dimanche 18 avril, à onze heures quarante-cinq du soir, et j'ai été frappé de l'état de conservation des traits et de la physionomie.

J'aurais presque pu me dispenser de recourir aux agents de désinfection dont je m'étais muni pour faciliter le moulage des visages. . . .

Sivel avait conservé son mâle et énergique visage; il ne présentait au nez ni à la bouche aucune trace d'hémorrhagie; la face légèrement tuméfiée n'était pas cyanosée.

Crocé-Spinelli avait les narines et la bouche remplies de sang que nous dûmes enlever par des lavages réitérés. Il portait au front, au nez et à la joue droite des plaques noirâtres produites par les ecchymoses résultant des meurtrissures déterminées par les oscillations de la nacelle. Néanmoins, malgré le sang qui les recouvrait, les lèvres n'avaient pas cette teinte bleuâtre caractéristique de l'asphyxie et le côté gauche de la face avait presque conservé sa coloration normale.

La catastrophe du *Zénith* a profondément ému notre pays;



Fig. 89. — Crocé-Spinelli.

chacun se souvient des funérailles solennelles faites aux victimes, des manifestations des corps politiques et savants, de la souscription ouverte en faveur des familles de Crocé et de Sivel, souscription qui produisit près de 100 000 francs. Le 23 mai, dans un grand meeting où pour la dernière fois M. le pasteur Athanase Coquerel fils fit entendre sa voix éloquente, j'ai pu dire[1] en toute vérité :

Un mois et demi déjà s'est écoulé depuis la catastrophe du *Zénith*, et

[1] L'*Aéronaute*, juillet 1875.

dans notre pays, qu'on accuse injustement de légèreté et d'oubli, l'émotion qu'elle a suscitée n'est point encore calmée.

Il y a là un fait remarquable et sur lequel il est utile d'insister. Chaque jour, les feuilles publiques nous apportent le récit de désastres terribles, inondations, explosions, incendies, naufrages, qui coûtent la vie à des dizaines, à des centaines d'hommes : il semble que notre sensibilité s'y doive émousser, et que la perte de deux hommes doive à peine l'atteindre. Que dis-je? Notre pays, notre héroïque et malheureux pays, sort à peine d'une période de douleurs et de sacrifices, dans laquelle il a dû pleurer non-seulement ceux qui sont morts pour sa défense, mais ceux qui, vivants encore, lui sont à cette heure arrachés; et cependant on apprend la mort de deux hommes, de deux hommes seulement, et voici que la France entière tressaille et s'émeut.

C'est que tout, dans cette double mort, est étrange et sublime. Certes, Sivel et Crocé-Spinelli ne sont pas les premiers aéronautes dont la science ait à déplorer la perte; leurs noms sont les derniers d'une liste en tête de laquelle brillent les noms de deux autres savants, Pilâtre du Rozier et Romain, qui se brisèrent en 1785 sur la plage de Boulogne. Mais la mort qui avait frappé ces deux aéronautes était une mort connue, prévue, vulgaire en quelque sorte; une mort à laquelle chacun avait pensé, que chacun avait redoutée, depuis le jour où parut dans les airs la machine de Montgolfier : c'était la chute. Ils étaient morts en tombant. Mais ici, pour la première fois, on voyait deux hommes mourir au sein même des airs, et mourir en montant. Ils sentent venir la mort, une mort inconnue jusqu'alors; leur poitrine oppressée les avertit du danger; ils se consultent : Faut-il redescendre? Ah! la consultation ne fut pas longue. Nous avons du lest, nous pouvons là-haut faire encore des observations utiles; *excelsior*, plus haut! Et puis, l'on dit qu'un Anglais a pu vivre et observer par delà 8000 mètres : il faut que le pavillon que nous portons aille flotter plus haut encore. Ils bondissent, et la mort les saisit, sans efforts, sans souffrances, comme une proie à elle dévolue dans ces régions glacées où règne un éternel silence. Oui, nos malheureux amis ont eu cet étrange privilége, ce funeste honneur, de mourir les premiers dans ce que nous appelons les cieux.

Et, par une douloureuse dérision du sort, ils sont morts à l'heure où la science leur fournissait les moyens de triompher du péril auquel ils allaient succomber.

C'était un but scientifique de grande portée théorique[1], d'immenses conséquences pratiques, que poursuivaient nos deux amis. Déterminer la direction, la force, l'épaisseur des couches aériennes en mouvement; mesurer les variations de la température, de l'électricité, de l'humidité, de la composition chimique de l'air, à diverses hauteurs; aller analyser les

[1] Ce passage est une réponse à l'assertion de M. Faye, que les ascensions au-dessus de 7000m ne présentaient point d'utilité pour la science. (*Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. LXXX, p. 1057, 1875.

éléments constitutifs des astres, en se plaçant au-dessus de l'espèce d'écran que forment les couches inférieures de l'atmosphère : tels étaient les principaux problèmes qu'ils s'étaient posés. On a nié l'utilité des ascensions à grande hauteur : c'était nier l'évidence. Tout amène à croire que le ballon pourra, par sa force ascensionnelle, porter l'observateur jusqu'aux limites extrêmes où flottent les nuages les plus élevés. Or, quelle source de prospérité pour l'humanité pourrait être comparée à la prévision certaine du temps? Comment pourrait-on espérer y arriver, sans connaître à fond cette région où se forment la pluie, la neige, la grêle, où s'engendrent les vents et les orages? Et comment connaître celle-ci sans l'ascension à grande hauteur, qui permet d'atteindre ses confins et de faire, si j'ose ainsi parler, l'anatomie de l'atmosphère?

Je devais ces explications à la Société de navigation aérienne; je les devais à la mémoire de nos malheureux amis. Au reste, personne ne s'y est trompé. Chacun a compris qu'il s'agissait d'hommes de science, morts en faisant d'utiles recherches de science, et c'est là la seconde raison qui explique l'émotion suscitée par leur mort.

Il en est une troisième encore, plus saisissante, plus poignante peut-être. Transportons-nous par la pensée cinq années en arrière, pendant l'hiver terrible. Paris est enfermé dans un cercle de fer; toutes communications sont coupées; sur terre, d'infranchissables obstacles; des filets barrent le fleuve. Mais l'air nous reste, cette voie nouvelle ouverte par un Français, Montgolfier, sur laquelle s'est le premier aventuré un Français, Pilâtre du Rozier; des hommes intrépides, — M. G. Tissandier en était, — s'élancent dans les airs, bravant mille périls, sans parler des balles ennemies, répandant en province les nouvelles qui adoucissaient les angoisses de la séparation, emportant avec eux le sentiment énergique, l'indomptable résolution de la grande ville de faire jusqu'au bout son devoir. Aussi, j'ose le dire, et qui me démentira? lorsque se répandit le bruit que deux hommes étaient morts en ballon, Paris se reporta à ces heures de douleurs et d'espérances, la France tressaillit, et tous les cœurs battirent, comme ils battaient lorsqu'on nous disait qu'un ballon avait pris terre, qu'on avait vu un ballon dans les airs.

Ainsi cette double mort, qui apparaissait comme empreinte d'une étrange et lugubre poésie, comme éclairée par l'auréole de la science, éveillait encore les souvenirs du patriotisme le plus pur. N'en est-ce pas assez pour expliquer qu'elle ait excité dans la France entière un sentiment si vif, si universel, si durable?

L'émotion des hommes de science se manifesta spécialement, d'un côté par des notes et mémoires tendant à expliquer la mort des deux aéronautes, de l'autre par des inventions destinées à éviter désormais de si terribles catastrophes. Je suis obligé de déclarer que rien de ce qui a été dit ou imaginé à ce propos ne mérite d'être reproduit

ici. Au point de vue théorique, ce ne sont que des rééditions des vieilles idées, déjà condamnées, dont nous avons reproduit dans notre historique la bizarre série; on y a ajouté gratuitement, pour le cas particulier, l'intervention toxique du gaz d'éclairage s'échappant à flots du ballon trop rapidement dilaté et venant empoisonner les aéronautes. Les inventions protectrices valent ce que valent les théories qui ont inspiré leurs auteurs. La plupart parlent de scaphandres, de cages vitrées, de nacelles closes, avec air confiné ou comprimé, atmosphères artificielles, sources d'oxygène, etc.; mais rien de ce qui a été ainsi sérieusement proposé ne vaut la charmante mystification du *Voyage à la lune*, et M. Jules Verne me pardonnera de ne pas le discuter ici.

Le docteur Stoliczka, géologue fort connu par d'importants travaux sur les montagnes de l'Inde, avait, en 1864, traversé nombre de passes au-dessus de 5000 mètres dans l'Himalaya; il y avait fait « une horrible expérience[1] » des fatigues et du mal des montagnes, et n'était revenu que lentement à la santé. En juin 1874, il repartit avec une mission anglaise commandée par le lieutenant-colonel Gordon, et mourut subitement le 19 juin, à l'âge de 34 ans, trois jours après avoir traversé le Karakorum. Les détails donnés sur sa mort par les lettres du lieutenant-colonel Gordon et du capitaine Trutter[2] semblent bien indiquer que l'influence fatale de l'air raréfié a joué un rôle important dans la mort du malheureux géologue.

Je reproduis ici la lettre du capitaine Trutter, la plus intéressante et la plus complète :

Le 16 juin, le jour où nous traversâmes le Karakorum, il se plaignit d'une douleur à la partie postérieure de la tête; comme d'ailleurs il souffrait toujours plus ou moins de douleurs de tête, tant qu'il restait sur les grandes hauteurs, je pensai que son mal n'avait pas d'autre signification; le mal continua le 17, jour où nous traversâmes les déserts de Dipsang, dont le niveau est encore très-élevé. Hier 18, il partit de bonne heure

[1] Obituary. — *The geological Magazine*, 1874, p. 383.

[2] *Nachrichten uber die letzten Tage der verstorbenen D. F. Stoliczka. — Verhandl. der K. K. geologischen Reichsanstalt*, 1874, p. 279-285.

pour aller chercher quelques roches à Bruchsé, et à moitié chemin il se rencontra avec nous au déjeuner. Il paraissait très-fatigué, et se plaignait de la tête. Lorsque vers midi nous fûmes arrivés ici, il se jeta sur un lit, et commença bientôt à respirer difficilement, à tousser beaucoup, et il vomit. La tête et les mains étaient très-chaudes et le pouls battait vite et fort. Il se plaignait beaucoup de douleurs dans le cou et l'occiput. Sur mon conseil, il mit deux emplâtres de moutarde l'un sur le cou, l'autre sur la poitrine, sans en ressentir grand soulagement. Le soir, la toux devint très-rude et le médecin indigène prépara une mixture pour calmer l'irritation qui causait la toux; celle-ci n'en continua pas moins pendant toute la nuit. Au matin, elle disparut; mais le malade, très-affaibli, semblait à peine avoir conscience de lui-même. Depuis la veille au soir il n'avait rien dit, et ne répondait que par quelques syllabes aux questions qu'on lui adressait, sans paraître bien comprendre ce qu'on lui disait. Ce matin, je lui demandai deux fois s'il éprouvait des douleurs, à quoi il répondit : non.

Le médecin indigène parut croire qu'il était atteint de bronchite aiguë et de pneumonie. Mais d'après ce que le capitaine Biddulph et moi avions vu de sa maladie qui l'avait frappé au mois d'octobre dernier, à Kizil-Jilga, sur la route de Kashgar, et dont nous reconnûmes les symptômes, il fut clair pour nous que le mal était le même que la première fois, c'est-à-dire une méningite spinale. Sur le conseil du docteur, on lui appliqua un emplâtre sur le côté droit. Il resta jusqu'à midi dans un état de demi-inconscience, et prit à plusieurs reprises du bouillon de poulet et de l'eau-de-vie dans sa potion.

Il ne parut être ni mieux ni plus mal; il faisait habituellement 50 respirations à la minute, irrégulières, et souvent alternativement profondes et difficiles, ou brèves et faciles. La respiration était accompagnée de bruits sonores, qui ressemblaient au bruit du bord de la mer ou au crépitement d'une fusillade lointaine. Plus tard, au matin, il me sembla que le bruit était devenu plus rude. Pourtant la respiration devint un peu plus facile, et il fit vers 1^h 1/2 signe qu'il désirait se placer dans sa chaise. On l'y porta et je lui donnai un peu de porto, mais il semblait si défait et si anéanti, que j'appelai Biddulph qui, trouvant le malade fort mal, alla prévenir le colonel. Reporté dans son lit, il chercha aussitôt à s'asseoir ; je le tirai en arrière pour le soutenir, pendant qu'arrivait le colonel ; le bruit de râle cessa — mais il respirait encore profondément, ses mouvements respiratoires devinrent de plus en plus lents, comme son pouls ; enfin il rendit le dernier soupir, mourant si tranquillement qu'il fut impossible de fixer d'une manière précise le moment où il s'est endormi. Il n'eut aucune agonie, mourut apparemment sans douleur, et après sa mort une expression de repos et de paix resta sur son visage.

Depuis le moment où il vint ici jusqu'à celui où il mourut, il dit à peine un mot, et toute conversation devint impossible ; cependant, lorsqu'il me regardait, je croyais pouvoir comprendre sur son visage qu'il avait connaissance de sa position critique.

Il m'avait dit quelques semaines auparavant qu'une deuxième attaque de méningite amènerait une mort certaine, puisqu'il est rare qu'on survive à une première attaque.... Je ne puis m'empêcher de croire que les hauteurs étaient pour beaucoup dans l'aggravation des symptômes; il avait été exposé au même froid dans l'expédition du Pamir, et cependant, la hauteur étant moindre, il n'avait pas souffert.

Je pense que le capitaine Trutter a raison. Je ne crois pas que le docteur Stoliczka ait succombé à la seule influence de l'air raréfié; il a probablement, sous l'influence d'un froid intense, été atteint d'une méningite spinale compliquée de broncho-pneumonie; mais la prostration immédiate, la mort en deux jours doivent être attribuées à une complication inconnue aux niveaux ordinaires. Je n'hésite pas à croire qu'une diminution dans l'étendue ou l'intégrité de la surface hématosante qui n'eût amené sur les bords de la mer que des troubles légers, a dû entraîner la mort par asphyxie dans des régions où l'absorption d'oxygène était réduite déjà à son minimum. Nous aurons à revenir sur ces faits dans le sous-chapitre suivant.

Un anatomiste de grand mérite, qui vient de publier un travail considérable sur l'appareil respiratoire des oiseaux, a essayé, parmi des considérations fort intéressantes sur le jeu de cet appareil, d'expliquer la singulière immunité dont jouissent, par rapport aux effets de l'air raréfié, les oiseaux de haut vol. Aux yeux de M. Campana[1], tout s'explique par la suractivité imprimée par les actes musculaires du vol aux phénomènes respiratoires; aussi, dit-il, faisant allusion aux expériences dans lesquelles j'ai vu des crécerelles (p. 757) ne pas résister à la décompression notablement plus que les autres oiseaux :

J'admettrais sans peine que ces mêmes condors, ou, mieux encore, des condors pris dans une ménagerie, pourraient bien subir tous ces désordres fonctionnels, si, au lieu de s'élever librement en *volant*, ils participaient, d'une manière passive, à l'ascension d'un aérostat, retenus captifs et im-

[1] *Recherches d'anatomie, de physiologie et d'organogénie pour la détermination des lois de la genèse et de l'évolution des espèces animales.* 1er mémoire. — *Physiologie de la respiration chez les oiseaux.* — Paris, 1875.

mobiles dans une cage, au fond de la nacelle. A plus forte raison, si on les déprimait en vases clos. (P. 336.)

Cette survie sans malaises à des hauteurs qui, pour les condors, atteint 7000^m, tient, selon M. Campana, à deux causes; examinons-les avec le soin que mérite son important travail.

Ces deux causes sont exprimées dans la formule suivante :

Chez les mammifères, *le mal des montagnes, le mal des aéronautes*, s'explique par l'impossibilité d'une amplification thoracique régulièrement continue et suffisante, due à l'impuissance des muscles qui meuvent le thorax; et aussi par l'exposition immédiate d'un parenchyme pulmonaire *rétractile* à une pression atmosphérique extérieure, notablement affaiblie, et par l'annulation de la fonction compensatrice de la glotte. (P. 341.)

D'abord, selon M. Campana, les mouvements des ailes auraient pour conséquence une mise en jeu de la partie des sacs aériens (prolongements brachiaux du réceptacle antérieur-supérieur) située entre les muscles moteurs du bras, sacs qui restent immobiles en dehors du vol; ils se dilateraient lors de l'élévation de l'aile (c'est-à-dire, d'après les observations de M. Marey, au moment de l'inspiration trachéale), et se videraient d'air lors de son abaissement. Il en résulterait une circulation aérienne notablement plus rapide à travers les poumons, une ventilation plus parfaite, qui aurait pour conséquence que :

Dans les mêmes conditions où le mal des montagnes se manifeste chez les mammifères, les oiseaux au vol échappent aux deux causes d'anoxyhémie qui frappent les mammifères, sinon absolument et indéfiniment, du moins à un degré extrêmement supérieur. (P. 341.)

Je considère comme parfaitement exactes les observations de M. Campana relativement au développement des cellules aériennes alaires pendant l'acte du vol. Mais je crois qu'il a extrêmement exagéré l'importance de cette constatation; d'abord le surcroît de volume acquis de la sorte est en somme peu considérable, eu égard à celui des autres réservoirs gazeux qui agissent en même temps, c'est-à-dire aux sacs extra-thoraciques. En second lieu, si je voyais ces adjuvants de l'acte respiratoire ne se développer que pen-

dant le vol aux grandes hauteurs, j'accorderais volontiers qu'ils peuvent alors présenter une certaine utilité : mais ils agissent également à toutes les hauteurs, pourvu que l'oiseau vole; et si je veux bien croire qu'ils aident ainsi à produire le surcroît de forces nécessaires pour le travail dans l'air et à établir l'équilibre de l'organisme à l'état dynamique, je ne comprends pas comment ils pourraient y ajouter, là où la faible pression devient menaçante, un supplément de ventilation et par suite d'oxygénation qui n'aurait pas été déjà fourni dans les bas niveaux. Enfin, en admettant même la ventilation rendue parfaite, nous avons vu que cela est de peu d'importance, puisque c'est la capacité du sang pour l'oxygène qui, ayant diminué avec la hauteur, constitue le véritable péril. La perfection de la ventilation ne peut jouer qu'un rôle très-restreint, puisqu'elle ne peut qu'élever la quantité d'oxygène contenue dans le sang artériel en circulation à ce que ce sang serait capable d'absorber s'il était convenablement saturé. Cette augmentation n'est point à dédaigner chez les mammifères, et nous insisterons sur ce point dans le sous-chapitre suivant. Mais précisément on doit à peine en parler chez les oiseaux, puisque, d'après les recherches récentes de M. Jolyet[1], leur sang artériel est toujours à peu près saturé d'oxygène; c'est là, pour le dire en passant, un fait du plus haut intérêt, puisqu'il montre que chez les oiseaux, au contraire des mammifères, les conditions du brassement aéro-sanguin sont parfaites dans l'appareil respiratoire.

La seconde raison indiquée par M. Campana pour expliquer la résistance des oiseaux hauturiers, c'est

> Qu'ils possèdent le moyen de soustraire le parenchyme pulmonaire et jusqu'à un certain point les réceptacles moyens eux-mêmes à cette absolue dépendance de la pression barométrique que les poumons des mammifères subissent forcément pendant l'inspiration. (P. 342.)

En d'autres termes, pendant l'inspiration comme pendant

[1] *Contribution à l'étude de la physiologie comparée du sang des vertébrés ovipares.* — *Comptes rendus de la Société de biologie*, t. XXVI, p. 278, 1874.

l'expiration, les poumons, par suite de l'injection énergique exécutée alternativement par les réceptacles extra et intrathoraciques, « sont gorgés d'air sous une pression supérieure à celle de l'air extérieur. » (P. 343.)

Ainsi, l'appareil respiratoire est soustrait jusqu'à un certain point à la dépression barométrique, ce qui rend possible l'ascension dans les hautes régions de l'atmosphère, et *a fortiori* le vol plané au sein d'un air glacial et asphyxiant. (P. 346.)

Je ne veux ni rapporter ni discuter les détails du mécanisme très-compliqué par lequel M. Campana explique cette compression de l'air dans l'intérieur des poumons; il se réduit en définitive à une injection d'air trop considérable pour la section des ouvertures de débit, dans les mailles du parenchyme pulmonaire. Mais je ne puis admettre qu'on attribue à ce léger excès de pression un rôle sérieux au point de vue qui nous occupe, et qu'on le considère comme pouvant contre-balancer l'énorme dépression à laquelle va s'exposer l'oiseau; c'est par millimètres de mercure que se peuvent compter ces modifications intra-pulmonaires, et c'est par dizaines de centimètres que se mesure la dépression extérieure.

A mes yeux, la question reste entière et l'immunité des condors et des vautours demeure inexpliquée pour moi. Quand même l'étude de l'influence de la dépression, en vases clos, nous montrerait un de ces oiseaux résistant beaucoup plus que ne l'a fait notre crécerelle, nous serions débarrassés d'une espèce de contradiction, mais nous n'aurions pas encore d'explication. Je reviendrai sur ces faits en parlant dans le prochain sous-chapitre des habitants des hauts lieux, qui semblent présenter une immunité analogue, ainsi que les yacks de l'Himalaya et les lamas des Andes.

Je terminerai cette revue des travaux publiés depuis la publication des principaux résultats obtenus dans mes recherches par une brève analyse du nouveau livre de M. Jourdanet[1]. Cette œuvre considérable, dont j'ai annoncé l'apparition et cité quelques passages dans la première partie du présent ouvrage

[1] *Influence de la pression de l'air sur la vie de l'homme.* 2 vol. Paris, 1875.

(p. 317, 319), est divisée en cinq parties. Dans la première (t. I, p. 3-84), intitulée « Études barométriques préliminaires », je signalerai seulement ici, et sans pouvoir m'y arrêter, le curieux chapitre sur les modifications de la pression barométrique dans les âges géologiques, et leur influence sur les êtres vivants. La seconde (p. 85-367), « Climats des altitudes », contient, en outre d'une description magistrale des régions élevées et habitées du globe, et d'une importante statistique du Mexique, un résumé de mes propres expériences, et l'étude de l'influence qu'exerce la décompression sur les voyageurs (mal des montagnes) et sur les habitants des hauts lieux. Dans la troisième partie (t. II, p. 3-154), « Constitution pathologique des altitudes », est développée et appuyée par des observations médicales du plus haut intérêt, la remarquable découverte faite par M. Jourdanet, de l'influence déprimante des grandes hauteurs, de l'état anémique (*anoxyhémique*) des habitants des hauts lieux lorsqu'ils sont atteints de quelque maladie. La quatrième partie (p. 155-204) traite des « Climats de montagne ». M. Jourdanet explique dans les termes suivants la valeur qu'il attribue à ce mot, opposé à celui de climat des altitudes :

J'appelle *climats d'altitude* ceux qu'une élévation suffisante, combinée avec la distance à l'Équateur, caractérise par les signes certains d'une altération respiratoire, comme conséquence de la diminution de densité de l'air ambiant.

Au-dessous de cette limite physiologique, la dépression barométrique n'agissant pas dans un sens nuisible par elle-même, et pouvant au contraire produire des résultats heureux sur la santé, je désigne par la dénomination de *climats de montagne* les conditions qui se rattachent à des hauteurs modérées et aux basses ondulations du sol des pays montueux. (*Préface*, p. 2.)

On trouvera dans cette quatrième partie des faits et particulièrement des statistiques qui sont de nature à faire faire de sceptiques réflexions sur l'*air vivifiant* et l'action fortifiante de la montagne. Enfin, dans la cinquième partie (p. 205-292), sous le titre de « Transitions barométriques naturelles et artificielles », le séjour momentané sur les lieux

montagneux est opposé avec un grand art à l'effet d'une habitation prolongée; de fort curieuses observations s'y trouvent en outre relatées, sur l'emploi thérapeutique de l'air raréfié.

On voit que la seconde partie seule de cet important ouvrage se développe sur le terrain même où nous nous sommes cantonné. Or, j'ai donné dans le présent livre (voy. p. 266 à 291, et 317, 419), en analysant les travaux antérieurs de M. Jourdanet, la place qu'elles méritent à ses remarquables observations; je ne pourrais, sans tomber dans des redites, y revenir ici. Quant aux considérations hygiéniques et médicales auxquelles mon savant confrère a su donner tant d'ampleur et d'intérêt, je ne puis que renvoyer le lecteur à ce livre, qui renferme tant d'observations curieuses, d'aperçus nouveaux, tant de preuves d'une érudition profonde, tenace, si l'on peut ainsi dire, et guidée par une idée théorique, heureuse, féconde. Il admirera l'étendue des conséquences générales relatives à la constitution des races humaines, à l'histoire des civilisations, à la politique philosophique, que M. Jourdanet a su tirer de cette première observation, que, pendant une opération chirurgicale faite à Mexico, le sang qui s'échappait des artères ne présentait pas la rutilance habituelle (t. I, p. 171). Mais je ne puis ici insister davantage.

SOUS-CHAPITRE II

RÉSUMÉ ET APPLICATIONS PRATIQUES.

Nous avons exposé, dans notre deuxième partie, avec une surabondance qui aura pu peut-être paraître excessive, les preuves de cette vérité que la diminution dans la pression barométrique n'agit sur les êtres vivants qu'en diminuant la tension de l'oxygène qu'ils respirent, et, si l'on pousse les choses à l'extrême, qu'en les asphyxiant par privation d'oxygène. Si bien qu'il existe un parallélisme qui peut être poursuivi dans les moindres détails entre deux animaux dont l'un est soumis jusqu'à la mort dans l'air normal à une diminu-

tion progressive de la pression, tandis que l'autre respire, également jusqu'à la mort, sous la pression normale, un air de plus en plus pauvre en oxygène. Tous deux périront après avoir présenté les mêmes symptômes ; et, aux différents moments de l'expérience, à la mort même, on pourra chez tous deux constater le même rapport entre la tension de l'oxygène dans l'air extérieur et sa proportion dans leur sang.

Toutes les anciennes théories sur l'action mécanique de la dépression ont dû disparaître entièrement, et il suffirait vraiment, pour montrer leur inanité, de rappeler l'expérience dans laquelle j'ai pu descendre jusqu'à la pression mortelle de 248^{mm}, sans éprouver le moindre inconvénient, sous la seule condition de rétablir à son degré normal la tension du gaz comburant, par la respiration d'un air artificiel suroxygéné.

La question apparaît donc comme réduite à une simplicité singulière; mais si la cause des phénomènes observés peut être ainsi exprimée en un mot, ses conséquences sont si diverses, qu'elles méritent d'être étudiées dans les différentes conditions où peut agir la diminution de pression.

§ 1er. — **Aéronautes.**

Commençons par le cas le plus simple, et considérons d'abord l'aéronaute qui, *sans faire aucun effort*, est emporté par la marche ascensionnelle de son ballon.

A mesure qu'il s'élève et que la pression diminue, son sang s'appauvrit en oxygène, comme l'ont montré mes expériences : diminution bien faible d'abord, mais dont cependant mes analyses m'ont permis de prouver l'existence dès que la pression n'est plus que de 56 centimètres. Ici même, la perte en oxygène ne saurait avoir une influence immédiate bien saisissable ; la différence est de l'ordre de celles que l'on constate entre individus également bien portants, de l'ordre de celles qu'entraînent chez un même individu les changements dans le rhythme respiratoire, les états divers d'activité

ou de repos, de digestion ou d'abstinence. L'aéronaute n'en peut rien sentir.

S'il s'élève davantage, l'appauvrissement en oxygène augmente : à 2000 mètres, il était en moyenne de 13 pour 100 ; à 3000, il devient de 21 pour 100 ; à 6500, de 43 pour 100 ; à 8600 mètres (26 centimètres de pression), hauteur à laquelle sont morts Crocé-Spinelli et Sivel, ils devaient avoir perdu la moitié de l'oxygène de leur sang artériel. Mes animaux, à 17 centimètres de pression, en avaient perdu 65 pour 100 : leur sang artériel n'en contenait plus que 7 volumes au lieu de 20 pour 100 volumes de sang, moins que du sang veineux ordinaire sortant d'un muscle en contraction. C'est un pareil sang qui, dans les artères, était chargé de nourrir, d'animer les muscles, la moelle, les organes sensoriaux, le cerveau ! On se rappelle, en présence de ces faits, la célèbre expérience de Bichat sur le sang noir injecté dans les vaisseaux des centres nerveux.

On sait que, d'une manière générale, les effets de la raréfaction de l'air commencent à se faire sentir assez nettement vers la hauteur de 4000^{m}, correspondant à 46^{c} de pression. C'est aussi à peu près à cette pression que dans nos cloches nos animaux cessaient de s'agiter et paraissaient devenir inquiets. Or, le graphique de la figure 31 (fig. 645) montre que c'est à partir de ce moment, à peu près, que la proportion d'oxygène diminue dans le sang avec le plus de rapidité ; il y a ici une concordance remarquable.

Cette diminution dans la quantité d'oxygène contenu dans le sang est le fait dominateur. C'est d'elle que vont se déduire tous les accidents de la décompression. Sa cause, nous l'avons vu, est double : d'abord, la proportion d'oxygène que peut absorber le sang est d'autant moindre que la pression est plus basse (V. 2e partie, chap. II, s.-ch. V); en second lieu, si nous supposons que le rhythme respiratoire n'ait pas changé, la quantité d'oxygène qui circule dans les poumons pendant un temps donné diminue dans le même rapport que la pression. Or, sous la pression normale elle-même, le sang artériel, nous l'avons vu, n'est jamais saturé de l'oxygène qu'il

pourrait absorber, l'agitation du sang et de l'air ne se faisant pas dans les poumons avec une énergie suffisante.

L'écart doit singulièrement augmenter lorsque diminue non-seulement le coefficient d'absorption de l'oxygène, mais la circulation intra-pulmonaire. En effet, à demi-atmosphère, par exemple, pour maintenir semblables à ce qu'elles sont au niveau de la mer les conditions du brassement intra-pulmonaire, il faudrait que tout fût doublé : doubles les mouvements respiratoires en amplitude, en rapidité; doubles les battements du cœur, en force et en nombre. Cela est évidemment impossible.

Cependant, il se fait un changement dans ce sens, comme en témoignent les récits de tous les aéronautes, comme je l'ai observé sur les animaux et éprouvé moi-même dans mes appareils; aux faibles dépressions la respiration s'accélère, les battements du cœur sont plus forts et plus nombreux, et l'équilibre peut être à peu près rétabli. Nous avons vu, en effet, que si la ventilation pulmonaire augmente, le sang artériel peut gagner 3 ou 4 volumes d'oxygène pour 100 volumes de sang.

Mais, tout d'abord, ceci ne peut être que momentané, et semblable gymnastique ne saurait continuer longtemps sans des menaces d'emphysème et de maladies cardiaques; aussi cette exagération ne dure-t-elle pas, et quand le ballon devient stationnaire, les aéronautes ne voient nullement se maintenir chez eux cette accélération redoutable : l'oxygène diminue donc fatalement dans leur sang.

Il y a plus, quand la pression diminue encore, l'accélération respiratoire et circulatoire ne pouvant plus, même pour un instant, compenser l'insuffisance de l'agitation aéro-sanguine intra-pulmonaire, les muscles de la respiration comme ceux du cœur ne recevant plus qu'un sang insuffisamment oxygéné, et contraints cependant à un travail continu, perdent de leur énergie, se fatiguent. Les respirations, toujours nombreuses pendant l'activité, sont très-peu amples, si bien que c'est à peine si la quantité d'air inspiré dans un temps donné est *en volume* la même qu'à la pression normale; au

repos, elles retombent au nombre ordinaire, tout en restant très-faibles, et il semble même, selon la remarque de de Saussure (p. 90), qu'on oublie parfois de respirer. Les mouvements du cœur donnent des résultats analogues; leur fréquence augmente, il est vrai, mais la tension cardiaque baisse considérablement; dans un des tracés sphygmographiques de M. Lortet, pris au moment de l'arrivée au sommet du mont Blanc, on a peine à retrouver l'indication du pouls.

Ainsi, l'organisme, vaincu dans sa lutte pour compenser par l'agitation aéro-sanguine la moindre densité de l'oxygène de l'air, revient au type régulier de ses mouvements, qu'affaiblit bientôt la pauvreté du sang. A ce moment, la gravité des phénomènes va en augmentant rapidement; l'insuffisance de la capacité du sang pour l'oxygène se complique d'une imperfection de plus en plus considérable dans la ventilation et la circulation intra-pulmonaires, causée précisément par l'insuffisance de l'oxygène absorbé. C'est ce qui fait que, comme nous l'avons vu (p. 696), le sang artériel des animaux décomprimés contient encore moins d'oxygène qu'il n'en pourrait absorber à la pression sous laquelle ils se trouvent.

Cette diminution rapide dans la richesse en oxygène du sang a pour conséquence un trouble profond apporté dans la nutrition et par suite dans le fonctionnement des organes. Nous avons vu que chez les animaux placés sous les cloches à air raréfié, lorsque la dépression est assez forte, la quantité d'acide carbonique exhalée et d'urée excrétée diminue notablement; la température s'abaisse également, alors cependant que celle de l'air extérieur est tout à fait moyenne. Il doit certainement en arriver de même aux aéronautes, lorsqu'ils atteignent de très-grandes hauteurs, où, par surcroît, l'air est généralement très-froid. Je rappelle que j'ai montré expérimentalement que dans l'air froid la résistance à la dépression est moindre qu'à des températures ordinaires.

Mais sous des dépressions inférieures à celles qu'il a fallu mettre en jeu pour manifester expérimentalement, c'est-à-dire brutalement, la diminution des actes intimes de la nu-

trition, le fonctionnement des organes la révèle à l'observateur. Et ici, comme toujours quand il s'agit d'une cause capable d'agir sur l'organisme tout entier, c'est le système nerveux qui réagit le premier, qui, si je puis employer cette expression, se plaint le premier. La sensation de fatigue, la diminution des acuités sensorielles, les accidents cérébraux, vertiges, sommeil, hallucinations, tintements, éblouissements, fourmillements, les réactions des nerfs pneumo-gastrique et sympathique, nausées, battements de cœur, dilatation des petits vaisseaux, sont le signe de l'oxygénation insuffisante des organes nerveux centraux et périphériques. Après le système nerveux vient le système musculaire, qui accuse de la faiblesse, est pris de contractions convulsives, de tremblements où certes le système nerveux a aussi sa part. Enfin, aux degrés ultimes, surviennent la paralysie, la syncope, ou pour parler plus exactement, la perte de connaissance, et enfin la mort sans dernier soupir et sans convulsions, si la diminution de pression n'a pas été trop brusquement portée à son degré mortel.

Les troubles de la décompression disparaissent très-vite quand le ballon descend des hauteurs; très-vite aussi, je l'ai vu souvent dans mes expériences, la proportion normale de l'oxygène reparaît dans le sang. Cela est absolument en série.

Ce qui n'est pas moins en série, c'est la coïncidence remarquable que nous fournissent les faits observés dans les ascensions en ballon avec les deux seuls faits connus dans lesquels des hommes ont été soumis à un air pauvre en oxygène, sans intervention d'acide carbonique. Le premier a été observé, comme je l'ai déjà dit (p. 745), par M. F. Leblanc dans les mines pyriteuses de Huelgoat, en Bretagne. Dans une galerie où l'air ne contenait plus que 9,8 pour 100 d'oxygène, et où il était entré sans transition, il a eu des vertiges et des défaillances. Or, la tension de l'oxygène correspond alors à peu près à celle de l'air à 6000 mètres de hauteur, là où certes le mal des aérostats frapperait avec une grande violence celui qui s'y exposerait brusquement. Le second, constaté par M. Forel (p. 1049), est surtout remarquable par la

coïncidence des troubles intellectuels qu'il a éprouvés dans l'air peu oxygéné, avec ceux dont j'ai moi-même souffert sous une dépression correspondante à la hauteur du mont Blanc.

Le moment auquel les aéronautes éprouvent et les animaux en expérience manifestent des troubles sérieux varie, nous l'avons vu, non-seulement avec les espèces, mais dans la même espèce, avec les individus.

L'analyse des gaz du sang artériel nous montre des inégalités tout à fait du même ordre, et qui sont certainement la cause prochaine de ces différences. Ainsi, à 36 centimètres de pression, un de mes chiens (expér. CLXXI, n° 10 du tableau X, p. 643) avait perdu 55,6 pour 100 de l'oxygène de son sang, un autre (exp. CLXXIV, n° 11) n'en ayant perdu que 36,1 (tableau X, col. 14) ; ils étaient cependant arrivés à peu près au même chiffre (8,5 et 8,9, col. 8). Un autre de mes chiens a fait preuve (exp. CLXX, n°s 2 et 5) d'une résistance très-remarquable : à 5 6centimètres, il n'a perdu que 3,2 pour 100 de son oxygène ; à 46^{c}, que 5,5, conservant la proportion élevée de 20,3.

L'inspection attentive du tableau de la page 643 montre sous ce rapport beaucoup d'inégalités intéressantes ; mais on ne saurait y trouver les raisons de ces inégalités. Ni la vigueur des animaux, ni la richesse primitive de leur sang en oxygène ne peuvent servir à elles seules d'explication. On peut, cependant, en se basant sur les résultats généraux des analyses des gaz du sang, se rendre compte de ces phénomènes d'une manière assez satisfaisante.

Tout d'abord nous savons que, entre deux animaux de même espèce, adultes et bien portants, la richesse en oxygène du sang artériel est très-variable ; les écarts, dans nos analyses, ont été (V. le tableau XX, p. 1030) de 14,4 à 22,8 volumes d'oxygène pour 100 volumes de sang ; il paraît donc bien évident, *a priori*, que deux animaux présentant cette différence ne se comporteront pas de même au point de vue de la décompression, et que le premier sera plus rapidement impressionné que le second.

En second lieu, si nous supposons deux animaux identiques au point de vue de la richesse en oxygène de leur sang artériel, il se pourra faire qu'ils ne soient pas identiques au point de vue de la capacité maximum de leur sang pour l'oxygène; l'un pourra être déjà presque saturé, l'autre se trouver encore assez loin de son point de saturation. Ce dernier pourra donc, d'abord, en accélérant ses actes respiratoires et circulatoires, tendre davantage vers la saturation, et, par suite, résister mieux à la décompression. Mais ce n'est pas tout; puisqu'il a la même quantité d'oxygène, tout en étant moins saturé, c'est que son sang contient à volume égal plus d'hémoglobine que celui du premier, et que cette hémoglobine est moins oxygénée. Or, tout démontre que la combinaison oxy-hémoglobique est d'autant plus difficile à dissocier, soit dans la pompe, soit par les tissus, qu'elle s'éloigne de son point de saturation. Notre animal, pour cette raison encore, perdra par la dépression moins d'oxygène que celui qui en avait cependant la même quantité dans le sang.

Nous pouvons aller plus loin encore : deux animaux que nous prendrons de même poids et identiques par la richesse oxygénée et le degré de saturation de leur sang artériel, peuvent différer singulièrement par la quantité de sang contenu dans leurs vaisseaux. En supposant qu'il en soit ainsi, il est clair que s'ils font, dans un temps donné, la même dépense d'oxygène dans les profondeurs de leurs organismes, celui qui a le moins de sang verra ce sang abandonner aux tissus une proportion plus grande d'oxygène; en d'autres termes, il y aura un écart plus grand au point de vue de la richesse oxygénée, entre son sang veineux et son sang artériel, que chez l'animal très-sanguin. Nous avons constaté dans nos expériences des différences de cette nature; nous avons vu, par exemple, tel chien avoir dans le sang veineux 9,2 volumes d'oxygène de moins que dans le sang artériel (exp. CXC); tel autre (exp. CXCII) n'en avoir que 3,3. Si l'on suppose toutes les autres conditions identiques, et si l'on soumet ces deux animaux à une forte diminution de pression, il est clair que le premier sera impressionné fâcheusement longtemps avant

l'autre, puisque son sang veineux n'a qu'une bien moindre réserve d'oxygène.

Nous arrivons ici au fond même de la question. Considérons un individu dont le sang artériel contient pour 100 volumes 20 volumes d'oxygène, et dont le sang veineux en contient 12, un individu qui, par conséquent, pour les besoins de ses combustions organiques, consomme 8 volumes d'oxygène empruntés à son sang artériel. Supposons-le maintenant soumis, dans un aérostat, à l'influence de la diminution de pression. L'oxygène de son sang artériel diminuera progressivement comme nous l'avons vu, et il en sera naturellement de même dans son sang veineux. Mais il va passer par deux phases successives que nous devons étudier avec soin. Dans la première, le sang artériel appauvri, malgré les efforts de compensation tentés par l'appareil respiratoire, descendra à 18, 16, 14 volumes d'oxygène ; c'est quand, — si nous prenons pour base de nos calculs le graphique de la figure 31 (p. 645), — la pression se sera abaissée à 62, 48, 40^c, correspondant environ à des hauteurs de 1600, 3600, 5100 mètres. Si rien n'est changé dans l'intensité de ses combustions intra-organiques, notre aéronaute aura toujours eu besoin des 8 volumes d'oxygène qu'il consommait à la pression normale, et son sang veineux aura contenu 10, 8, 6 volumes d'oxygène. Ce sont là des combinaisons oxy-hémoglobiques faciles à dissocier pour les besoins des combustions organiques ; la quantité d'oxygène nécessaire aux phénomènes intimes de la nutrition aura pu être trouvée, et rien ne sera changé dans l'équilibre général de notre aéronaute. Sans doute, ses tissus seront baignés par un sang relativement pauvre en oxygène ; mais comme ils peuvent, en somme, bien qu'avec un peu plus de difficulté qu'à l'état normal, en extraire ce dont ils ont besoin, les troubles nutritifs avec leurs conséquences fonctionnelles ne seront que de médiocre importance.

Mais voici que le ballon monte toujours et atteint successivement 5700^m (37^c), 6600^m (33^c), 8600^m (26^c) : le sang artériel voit son oxygène s'abaisser à 13, 12, 10 volumes. Alors il de-

vient de plus en plus difficile de trouver les 8 volumes d'oxygène nécessaires à l'entretien régulier de l'organisme, car il faudrait que le sang veineux tombât à 5, 4, 2 volumes, et la combinaison oxy-hémoglobique se montre de plus en plus rebelle à la réduction. En fait, l'expérience l'a prouvé, cette réduction n'a pas lieu ; les graphiques de la figure 40 (p. 690) sont très-caractéristiques et montrent que la consommation d'oxygène diminue dans l'organisme, l'écart diminuant entre les tracés jusqu'alors parallèles qui représentent la richesse en oxygène du sang artériel et celle du sang veineux aux diverses pressions. C'est alors que, simultanément, on voit diminuer dans une proportion croissante la quantité d'oxygène consommé dans l'air, d'acide carbonique rejeté, d'urée excrétée; c'est alors que la température commence à s'abaisser. Alors, par suite, se manifestent, avec une intensité également croissante, des troubles physiologiques graves, dus à l'insuffisance de la quantité de forces vives mises en liberté; les muscles respiratoires, le cœur, qui jusque-là avaient fait effort pour activer les actes nutritifs, retombent, pour ainsi dire, comme épuisés; le système musculaire tout entier, le système veineux, qui peuvent à peine trouver dans le sang appauvri l'oxygène strictement nécessaire à leur entretien statique, ne peuvent entrer en action énergique ou durable. Et, par la série habituelle des sympathies, des harmonies organiques, ce qui était effet devient cause à son tour : les tissus refroidis deviennent moins aptes aux combustions, le cœur rallenti et sans forces n'envoie plus avec la même abondance le liquide nourricier, et le malheureux aéronaute, entraîné dans cette espèce de spirale vicieuse, descend rapidement la pente qui mène à la mort.

Ainsi, en résumé, deux phases : phase de lutte, phase de déroute, avec un passage de l'une à l'autre dont la durée variera suivant bien des circonstances, que nous allons passer rapidement en revue. Nous pouvons les diviser en deux classes : les unes sont inhérentes, les autres extérieures à la personne en expérience.

Parmi les circonstances intrinsèques, nous avons déjà cité

comme favorables la richesse sanguine de l'organisme, la richesse oxygénée du sang, la grande capacité du sang pour l'oxygène, la moindre consommation relative d'oxygène dans le sang à la traversée des tissus. Il en est d'autres encore, et non des moins importantes, mais que nous ne comprenons pas aussi clairement tout d'abord, et qui dépendent de l'état chimique des tissus eux-mêmes. Autre chose sera, en présence du moindre apport d'oxygène, un tissu où le repos a laissé s'accumuler des matériaux facilement oxydables, ou bien un tissu épuisé de ces matériaux par un fonctionnement antérieur par trop énergique. Dans le premier, tout sera prêt pour un maximum d'utilisation de l'oxygène apporté, et par suite pour un maximum de rendement de force vive; dans le second, au contraire, à côté des phénomènes de dégagement de la force vive, de combustion, l'équilibre organique amené à ses extrêmes limites exigera des réductions, des emmagasinements de force vive qui diminueront d'autant la somme des dépenses possibles en chaleur et en travail. Encore à ce point de vue, la digestion, qui jette dans l'organisme des matières faciles à oxyder, doit constituer une condition favorable à la conservation d'un état compatible avec la force et la santé. Enfin, pour terminer ce qui a rapport aux circonstances intrinsèques, nous signalerons les effets désastreux des efforts intellectuels ou musculaires qui, exigeant pour s'accomplir une soudaine consommation d'oxygène, viennent enlever à ce sang déjà si pauvre la provision insuffisante qu'il destinait à la nutrition des tissus, et réduisent ces derniers à l'indigence et à l'impuissance; mais ceci sera mieux à sa place dans l'étude des accidents des voyageurs en montagne.

En tête des circonstances extrinsèques et défavorables, il faut citer le froid. Les aéronautes ont rencontré des températures extraordinairement basses. Or, depuis les immortels travaux de Lavoisier, chacun sait quelle suractivité dans les oxydations peut être alors exigée pour la conservation d'une température constante. Il est clair que dans les conditions fâcheuses où se trouve la source oxygénée, c'est-à-dire le

sang artériel, le moment où l'organisme sera mis en péril pourra être avancé par l'action d'un froid intense. Mais il faudra que le patient ait déjà atteint, ou peu s'en faut, la phase de dépression organique, sans quoi le jeu compensateur des mêmes moyens physiologiques qui nous permettent, au niveau du sol, de résister au froid, pourrait se montrer efficace dans les hautes régions. Une seconde circonstance fâcheuse est une rapidité trop grande dans l'acte de l'ascension. Si confuse que soit encore l'idée qu'on peut se faire des effets de l'habitude, il est bien certain que les modifications dans les conditions au milieu desquelles nous vivons, ont des conséquences bien plus pénibles lorsqu'elles sont soudaines que lorsqu'elles sont amenées avec une certaine lenteur; le fait est des plus évidents pour la diminution de pression, et nous avons vu maintes fois, dans nos expériences, un animal foudroyé soudain par une dépression à laquelle on aurait pu aisément l'amener en employant des transitions prudentes; bien plus, cet animal, s'il n'est pas tué sur place, se remet et revient plus ou moins complétement à lui, sous la même dépression qui avait failli lui être fatale.

Nous n'avons, jusqu'à présent, parlé que de l'oxygène du sang. Les autres gaz, dont la proportion diminue également, joueraient-ils quelque rôle dans les accidents de la décompression ? L'acide carbonique, dont la diminution dans le sang marche encore plus vite que celle de l'oxygène (V. la fig. 31, p. 645), ne me paraît pas devoir présenter d'importance pour le cas des aéronautes qui restent si peu de temps sous l'influence de la décompression ; nous aurons à revenir sur ce point quand nous parlerons des habitants des montagnes. Quant à l'azote, il ne peut être question de lui qu'au point de vue mécanique. Nous avons montré le rôle redoutable qu'il joue dans les décompressions brusques à partir de plusieurs atmosphères; mais il me semble impossible d'attribuer la moindre influence fâcheuse à son dégagement pendant l'ascension même la plus rapide en ballon : Coxwell et Glaisher mirent 50 minutes pour arriver à 8838m; Crocé-Spinelli, Sivel et Tissandier atteignirent en deux heures la hauteur de

8600^{m}, la diminution de pression étant d'environ trois quarts d'atmosphère. Or, nous avons vu que les accidents même légers de la décompression brusque n'apparaissent jamais pour une décompression presque instantanée de une atmosphère (p. 512) ; au-dessus, pour des dépressions de plusieurs atmosphères, vingt minutes par atmosphère mettent à l'abri des accidents ; nous sommes bien loin des conditions présentées par les aéronautes.

Nous comprenons donc parfaitement maintenant les phénomènes que va présenter l'aéronaute en s'élevant dans son ballon. Aux faibles hauteurs, légère accélération du pouls et de la respiration tendant à compenser la diminution d'oxygène que commence à subir le sang, accélération qui semble avoir quelques-unes des conséquences de la fièvre, comme elle a quelques-uns de ses symptômes. A ce moment, en effet, les observateurs ont signalé une certaine excitation intellectuelle, avec sentiment de bien-être, de légèreté, de force, qu'il ne me semblerait pas exact d'attribuer seulement à l'émotion du voyage, aux splendides spectacles qu'offrent à l'admiration de l'aréonaute les nuages éclairés d'en haut par le soleil. Je pense que l'activité augmentée de la circulation, soumettant à une irrigation plus rapide les organes et particulièrement les centres nerveux, en enlève d'une manière plus complète les déchets nutritifs, et par cette sorte de lavage les met dans les conditions les plus favorables à leur fonctionnement. D'autre part, non-seulement l'acide carbonique pour une faible partie, mais toutes les impuretés gazeuses que notre sang absorbe au niveau du sol, particulièrement dans l'air des grandes villes, s'échappent en proportion déjà notable, et nos organes, si sensibles à l'influence de ces matières miasmatiques encore pour la plupart inconnues, doivent en éprouver des avantages plus faciles à deviner qu'à définir avec précision.

Mais le ballon poursuit sa marche ascensionnelle : il atteint et dépasse 5000^{m}. L'oxygène diminue en proportion notable dans le sang, bien qu'il en reste assez pour que la consommation nécessaire puisse être satisfaite. L'enthousiasme, l'ex-

citation fébrile éprouvés vers 2000m ont à peu près disparu; le cœur bat rapidement; les mouvements deviennent assez pénibles, le froid se fait sentir. Plus haut encore, le repos devient indispensable; le sang appauvri ne peut suffire au surcroît d'oxygénation exigé pour les contractions musculaires; aussi, le moindre effort donne des essoufflements, des palpitations : le vigoureux Sivel peut à grand'peine soulever un sac de sable de 20 livres au niveau de la nacelle; la somnolence envahit les passagers; ils ont des vertiges, des tintements d'oreille, des éblouissements; le ciel paraît presque noir, en partie à cause de l'affaiblissement de la vue. Enfin, plus haut encore, si, au milieu de l'espèce d'inertie musculaire, sensorielle, intellectuelle à laquelle ils sont condamnés, ils veulent faire un mouvement, même faible, lever un bras comme Glaisher et comme Tissandier, soudain ils s'aperçoivent que la paralysie les a frappés à leur insu et presque aussitôt le cerveau, auquel un cœur affaibli n'envoie plus qu'un sang insuffisamment oxygéné, cessant ses fonctions, il survient une perte de connaissance qui, si le ballon ne redescend pas, peut conduire rapidement à la mort.

Prophylaxie. — L'analyse que nous venons de faire montre l'utilité d'un certain nombre de précautions que le bon sens avait du reste indiquées déjà. Les aéronautes qui se disposent à des ascensions fort élevées devront, autant que possible, dans les jours qui précèdent, éviter les excès de fatigue musculaire, nerveuse, intellectuelle. Bien portants d'ordinaire, surtout au point de vue des organes respiratoires et circulatoires, ils devront prendre garde aux bronchites, qui sont de nature à gêner les actes respiratoires. Avant de partir, ils devront faire un repas d'aliments substantiels et emporter avec eux, pour manger fréquemment en route, quelque victuaille réconfortante.

Ils tâcheront de disposer toutes choses dans la nacelle de manière à ne pas être obligés à de grands efforts musculaires; les sacs de lest, par exemple, devront être vidés par la section d'une cordelette, et non portés du fond au bord de la nacelle. Une installation confortable ne sera pas sim-

plement du luxe, elle épargnera la consommation de l'oxygène.

Ajoutons que des couvertures, des bouteilles d'eau ou mieux d'huile chaude, devront être emportées afin de préserver du froid, autre consommateur d'oxygène.

La prudence commanderait, en arrivant dans les hautes régions, de ralentir l'ascension, afin de ne pas se soumettre à de trop brusques changements. Malheureusement cela n'est presque jamais possible dans la pratique, car si l'on ralentit la marche du ballon, le gaz qui y est contenu ira en se refroidissant au contact des couches glacées de l'air, et l'aérostat perdra une partie de sa force ascensionnelle. Or, on n'en a jamais trop pour de pareilles expéditions, et il faut songer à conserver le plus de lest possible pour les accidents de la descente, où le ballon, presque vidé, se conduit presque comme un simple parachute.

Telles sont les précautions dont, avant mes travaux, on pouvait prévoir l'utilité. Mais aujourd'hui, sans cesser d'être utiles à respecter, elles cèdent de beaucoup le pas à la respiration de l'air suroxygéné. Grâce à celle-ci, et à elle seule, tous les dangers de la décompression peuvent être impunément bravés. Je l'ai, ainsi qu'on l'a vu (p. 749-762), expérimentalement vérifié sur moi-même.

Il suffit, pour être complétement à l'abri, de respirer un air d'autant plus oxygéné que la pression diminue davantage; en telle sorte que la tension du gaz vivifiant reste toujours la même, ou du moins soit toujours égale, sinon supérieure, à celle qui existe dans l'air, sous la pression normale. Dans les ascensions en ballon, rien de plus simple à exécuter, l'espace ne faisant pas défaut.

On suspendra donc au cercle de l'aérostat deux ballonnets de baudruche, dont l'un, plein d'un mélange à 70 pour 100 d'oxygène, servira pour les hauteurs de 5 à 7000 mètres :

$$\text{tension de l'oxygène à 6000 mètres} = 70 \times \frac{35}{76} = 32 \text{ environ.}$$

L'autre, aussi pur que possible (95 pour 100 en pratique), servira pour les hauteurs supérieures : à 9000 mètres, la tension

oxygénée du mélange vaudra à peu près $95 \times \frac{24}{76} = 30$, c'est-à-dire qu'elle sera double de celle de l'air ordinaire à 2700 mètres. La grandeur des ballonnets devra être calculée à raison de 10 litres par homme et par minute de séjour dans les régions dangereuses; ainsi, dans le funeste et glorieux voyage du *Zénith*, il aurait fallu, pour éviter tout péril, et tirer un parti utile de toute l'ascension, emporter 1300 litres du premier mélange et 1800 litres du second[1], soit environ 3 mètres cubes dans des ballonnets ayant 9 mètres de capacité, à cause de la dilatation extrême du gaz à ces hauteurs. Mais cette quantité, il faut le dire, eût été tout à fait un maximum.

Je ne saurais recommander trop énergiquement d'établir, à partir de 5 à 6000 mètres, une relation directe et forcée, à l'aide d'une embouchure analogue à celles des appareils Galibert ou Denayrouze, entre la bouche des aéronautes et les ballonnets d'oxygène. Si semblable précaution eût été prise pour le *Zénith*, on n'aurait eu aucun malheur à déplorer; qu'on se reporte à l'émouvant récit de M. G. Tissandier : « Je veux saisir le tube à oxygène, mais il m'est impossible de lever le bras. » S'il avait eu le tube à la bouche, ils étaient tous sauvés!

§ 2. — **Voyageurs en montagne.**

Les conditions dans lesquelles sont placés les voyageurs en montagne diffèrent de celles des aéronautes en deux points importants : 1° les efforts musculaires nécessités par l'acte de l'ascension; 2° la lenteur relative de l'ascension et la durée du séjour sur les hauts lieux.

1° *Efforts musculaires*. — Les contractions musculaires, la production du travail nécessaire pour élever le poids du corps, nécessitent une consommation active d'oxygène, à

[1] Je tire ces chiffres du diagramme de la figure 87 (p. 1069) ; en supposant que la première descente se soit effectuée régulièrement, le séjour entre 500^m et 7000^m aurait duré 45 minutes et celui au-dessus de 7000^m, une heure environ.

laquelle, sur les niveaux ordinaires, l'accélération de la respiration suffit pour satisfaire. Mais lorsque la quantité d'oxygène dans le sang s'est abaissée notablement, la dépense nouvelle ne peut plus être couverte sans des troubles sérieux.

Aussi n'est-il pas étonnant de voir que le *mal des montagnes* arrive à des niveaux notablement moins élevés que le malaise des aéronautes; il est généralement assez intense à 4000 mètres (46 centimètres de pression); presque tout le monde l'éprouve au sommet du mont Blanc (4800 mètres; 41 centimètres). Ce n'est enfin qu'au prix des plus vives souffrances que la généralité des voyageurs dépassent dans les Andes et l'Himalaya la hauteur de 5500 mètres (38 centimètres) et que les frères Schlagintweit sont arrivés sur l'Ibi-Gamin à 6880 mètres (32 centimètres); encore ces courageux voyageurs étaient-ils déjà acclimatés par un assez long séjour sur les hauts lieux.

Les faits présentés dans mes expériences par les oiseaux qui, pour s'être agités, sont menacés de mort par une décompression qui rend à peine malade leur voisin plus tranquille; l'impossibilité de se mouvoir, à partir d'une certaine dépression, et, chez les voyageurs, la lassitude extrême, la nécessité de s'arrêter presque à chaque pas, l'amélioration qui suit le repos, surtout le repos horizontal, tout cela s'explique parfaitement d'après la connaissance que nous avons de l'appauvrissement du sang en oxygène sur les grandes hauteurs.

Nos analyses des gaz du sang nous permettent de repousser *a posteriori*, comme nous l'avons déjà fait *a priori* (V. p. 361), la théorie de M. Gavarret sur l'empoisonnement des ascensionnistes par l'excès d'acide carbonique qu'ils ont produit. Nous avons vu, en effet, que, même chez les animaux mal attachés sur leur cadre et qui, se remuant sans cesse, contractent fortement leurs muscles, que toujours, en un mot, l'acide carbonique diminue, bien loin d'augmenter.

Examinons maintenant de plus près la question de la consommation d'oxygène, et comparons notre voyageur en montagne à l'aéronaute dont nous avons précédemment parlé: supposons, pour mieux dire, que ce soit le même indi-

vidu, ayant à la pression normale 20 volumes d'oxygène dans 100 volumes de sang artériel, et 12 volumes dans le sang veineux. Le voici transporté à 3600 mètres et au repos; son sang artériel contiendra 16 volumes, son sang veineux 8 volumes, en admettant que rien n'est changé dans l'intensité des phénomènes nutritifs, et qu'aucun trouble fonctionnel n'est survenu. Mais voici qu'il met ses muscles en contraction, qu'il marche et continue à s'élever par une série d'efforts nécessitant une consommation d'oxygène. On sait, depuis les recherches de Claude Bernard, corroborées par celles de Ludwig et Sczelkow, qu'il y a entre le sang artériel qui entre dans un muscle et le sang veineux qui en sort pendant la contraction, une différence d'environ 12 volumes d'oxygène, différence qui n'est que de 8 volumes pendant le repos du muscle. Si donc on supposait que toute la consommation de l'oxygène du sang de notre voyageur fût due à la nutrition musculaire, celle-ci étant augmentée dans le rapport de 8 à 12, le sang veineux ne devrait plus contenir que $12:8 = 8:x = 5$ volumes environ d'oxygène; à 5100 mètres, la richesse en oxygène du sang veineux devrait tomber, en passant de l'état de repos à l'état de contraction générale, de 6 à 4; à 6600 mètres elle se réduirait à 1, 3; et tout ce que nous avons dit plus haut sur la difficulté de dissocier les combinaisons faiblement oxygénées de l'hémoglobine, montre les conséquences fâcheuses de cet épuisement dont le calcul d'autre part prouve la nécessité. Ou il se fera complétement, et alors le sang qui reviendra au cœur droit sera presque absolument dépouillé d'oxygène, et les échanges respiratoires ne ramèneront dans le sang artériel qu'une quantité d'oxygène moindre encore que celle qui s'y trouvait après la phase de repos; ou il sera entravé par les difficultés chimiques, et alors le muscle ne pouvant trouver la quantité suffisante d'oxygène, s'arrêtera dans sa contraction. Pour l'une ou l'autre raison, le voyageur, après quelques pas, est forcé de s'arrêter aussitôt, sous peine d'asphyxie : aussi s'arrête-t-il, et le sang veineux qui sort des muscles en repos, contenant encore une assez notable quantité d'oxygène, peut aller

dans les poumons se charger de ce que la loi physico-chimique de la dissociation lui permet de prendre dans le milieu aérien dilaté. La proportion centésimale se relevant suffisamment, nouvel effort possible, suivi bientôt de nouvel arrêt. C'est ce qui est arrivé à tous les voyageurs dans les régions élevées, comme le prouvent surabondamment les faits rapportés dans la partie historique de ce livre.

Sans doute les calculs que nous venons de faire donnent des résultats exagérés en ce sens que le corps n'est pas tout muscles et que tous les muscles ne se contractent pas à la fois dans l'acte de l'ascension. Mais d'autre part, nous n'avons parlé que de la contraction musculaire statique, sans tenir compte du travail à développer. Or, il est vraisemblable, sans qu'on puisse considérer cette allégation comme démontrée aujourd'hui, qu'un muscle qui se contracte en produisant du travail, consomme plus d'oxygène qu'un muscle qui se contracte statiquement. Si, en effet, la consommation d'oxygène était la même dans les deux cas, la chaleur du muscle devrait être moindre quand il y a travail produit ; or, Heidenhain a montré qu'elle augmente au contraire, ce qui exige une plus grande consommation d'oxygène. Nous sommes donc autorisés à penser que l'élévation du poids du corps dans l'acte de l'ascension augmente encore les emprunts faits par les muscles en contraction à l'oxygène du sang veineux et augmente par suite la détresse de l'organisme.

Par là s'explique ce fait si connu que, dans les hautes régions, tandis que la marche à plat est assez bien supportée, l'ascension des moindres mamelons amène des troubles graves (V. p. 347).

Ce que nous venons de dire du voyageur en montagne, et ce que nous avons dit antérieurement de l'aéronaute, nous permet d'aborder la question du refroidissement du corps pendant l'acte de l'ascension. La théorie de Lortet et Marcet (V. p. 297) consiste à dire que, dans des conditions de dépression où, à l'état de repos, la température reste constante, celle-ci s'abaisse lorsque l'ascension, qui nécessite un énorme travail mécanique, le produit aux dépens de la chaleur déve-

loppée par les oxydations organiques. Je dirai d'abord que dans mon opinion, il n'y a point ainsi dans l'organisme transformation de chaleur en force mécanique; tout me semble démontrer que, lors de la mise en liberté, sous forme de forces vives, des forces de tension, par suite de la fixation de l'oxygène, il se produit à la fois chaleur, électricité, travail, dans des proportions qui varient sans doute, mais dont les variations sont initiales et ne dépendent pas de transformations ultérieures. Il faut donc se demander s'il peut arriver, non que la chaleur se transforme en force mécanique, mais que les forces de tension, en se développant, donnent moins de chaleur afin de faire face au travail mécanique. La question ainsi posée, il faut avouer que jusqu'ici, les observations qui déposent dans le sens de la théorie peuvent être récusées (V. p. 353 et 1054), le thermomètre buccal ne pouvant donner des résultats certains pendant la marche même. M. Forel, dans un récent travail (V. p. 1050), M. Calberla, qui prenait la température dans le rectum (V. p. 1056), ont toujours constaté une augmentation de température pendant l'acte de l'ascension. Et cependant, je suis persuadé que dans des régions plus élevées, le fait annoncé par M. Lortet doit se produire. Nous avons bien vu, dans nos expériences, des animaux immobiles se refroidir par le fait de la diminution de pression; je suis persuadé que si, à ce moment, on eût exigé de leur organisme épuisé une production de travail mécanique, leur température eût encore baissé davantage, parce qu'ils n'auraient pas pu, ayant dépassé déjà la limite d'équilibre et s'étant avoués impuissants à oxyder suffisamment leur organisme pour le maintenir au rang d'animal à température constante, libérer le surcroît nécessaire de forces de tension, et qu'ils auraient dû, par suite, prélever sur la production de chaleur la force vive nécessaire pour exécuter ce travail. Or, il est possible même qu'à la limite, alors que pendant le repos la température reste encore normale, il se fasse un abaissement léger au moment de la dépense nouvelle exigée par le transport vertical du corps. Je ne saurais trop insister sur l'intérêt que présenteraient des recherches ther-

mométriques faites, avec toutes les précautions nécessaires, et pendant l'acte de l'ascension, sur des individus atteints au plus haut degré déjà du mal des montagnes; mais peut-être nos montagnes européennes sont-elles trop peu élevées pour permettre de constater, même dans ces conditions, un abaissement de température.

Il est bien démontré, en tout cas, que le refroidissement du corps n'est point la cause du mal des montagnes, et que celui-ci survient sans que la température intérieure ait été modifiée.

Ce n'est pas à dire, ainsi que nous l'avons fait observer en parlant des aéronautes, que le froid extérieur ne joue aucun rôle dans la question du mal des montagnes. Son importance est grande, au contraire, puisqu'il vient augmenter les exigences oxygénées de l'organisme s'efforçant de conserver son équilibre. C'est même évidemment cette nécessité de lutter contre le froid, cause nouvelle de consommation d'oxygène, cause nouvelle d'appauvrissement du sang, qui explique pourquoi, dans nos Alpes glaciales, le mal des montagnes frappe la plupart des voyageurs à des hauteurs qui sont, dans les Cordillères, tout à fait inoffensives ; ici, la limite des neiges perpétuelles est par 4800 mètres ; là, par 2700 seulement. Il faut pourvoir au réchauffement du corps en même temps qu'aux efforts musculaires de la marche.

B. *Durée de l'ascension.* — La durée des voyages en montagne, beaucoup plus longue que celle des ascensions en ballon, est une condition favorable, ainsi que nous l'avons dit en parlant de ces dernières. Le voyageur astreint à gravir lentement les pentes évite l'effet fâcheux des brusques modifications dans la richesse oxygénée du sang ; il ne peut guère, dans sa journée, franchir une dénivellation de plus de 3000^{m}, et il lui faut alors, si le sommet n'est pas atteint, se reposer, passer la nuit, s'habituer, en un mot, à l'état d'anoxyhémie dans lequel il se trouve. Cela est tellement vrai que nous avons pu, dans la première partie de ce livre, expliquer une partie des singularités que présente le mal des montagnes dans les diverses régions du globe par la forme du massif

montagneux, ou la situation plus ou moins isolée du pic à gravir.

Nous avons également montré comment s'expliquait, par un meilleur emploi des forces musculaires, dû à l'habitude de la gymnastique en montagne, la résistance beaucoup plus grande au mal que présentent les voyageurs après quelques ascensions préliminaires : la dépense de forces est ainsi réduite à son minimum.

Pour toutes ces questions, pour l'influence de la fatigue, du froid, etc., nous renvoyons au résumé déjà présenté des faits depuis longtemps connus (p. 327-340). Aujourd'hui que nous savons comment tout s'explique par la diminution de l'oxygène du sang, nous comprenons comment un excès inutile de contractions musculaires pourra amener plus rapidement l'anoxyhémie à son degré asphyxique, et occasionner le mal.

Quant à la nourriture mauvaise ou insuffisante, il est clair que si les matériaux oxydables ne sont point fournis en quantité convenable, les difficultés que l'organisme a, dans l'air dilaté, à réaliser les combustions nécessaires, seront augmentées d'autant. Mais il n'y a rien là, sauf l'intensité, qui soit spécial aux lieux élevés; l'usure sur laquelle a justement insisté M. Dufour aura lieu, au même degré, pour toute course ascendante, qu'elle s'opère au-dessous de 1000 mètres ou au-dessus de 4000, et cependant les phénomènes consécutifs seront bien différents.

Quant à l'analyse plus précise des causes et de la valeur de l'accoutumance, il me semble qu'elle sera mieux placée dans le paragraphe suivant, lorsque je parlerai des habitants des hauts lieux.

Prophylaxie. — Se prémunir contre le froid, se nourrir convenablement, réduire à leur minimum les efforts musculaires, s'exercer à des ascensions préliminaires et au séjour prolongé dans les régions élevées, aller camper la nuit qui précédera la grande ascension aussi haut que possible, ne point se hâter sur les pentes rapides, couper l'ascension par des haltes fréquentes, manger peu et souvent, telles sont les

précautions générales qui ressortent de tout ce que nous avons dit.

L'emploi de l'oxygène, du souverain protecteur contre les dangers de l'air raréfié, présente ici de bien plus grandes difficultés que pour les ascensions en ballon. Il ne peut être question, en effet, d'emporter en montagne des ballonnets d'oxygène contenant plusieurs mètres cubes. Deux moyens seulement se présentent à l'esprit : renfermer la provision nécessaire d'oxygène, comprimée à plusieurs atmosphères, dans des récipients solides; ou encore, préparer extemporanément et sur place, de temps en temps, l'oxygène nécessaire.

Pour étudier la réalisation du premier moyen, je me suis adressé à M. Denayrouze, qui a mis à ma disposition un appareil composé de deux cylindres en tôle d'acier d'un millimètre d'épaisseur, capables de supporter la pression de 40 atmosphères, et qu'on peut porter sur le dos comme un sac de touriste : les deux cylindres réunis n'ayant que 36^c de hauteur sur 26^c de largeur, et pesant avec le régulateur Denayrouze seulement 13 kilogrammes. Le volume des cylindres étant de 11 litres, on aurait, à 30 atmosphères, charge qui ne présente aucun danger, 330 litres d'oxygène[1], qu'il faudrait évidemment prendre aussi pur que possible, c'est-à-dire, dans la pratique, à 95 pour 100. Mais la respiration d'oxygène pur n'étant nullement nécessaire, j'ai fait construire un ajutage en forme d'Y, qui peut servir à mêler, en proportion convenable, l'oxygène du récipient avec l'air extérieur : l'une des branches, qui débouche au dehors, est libre; l'autre, qui communique avec les cylindres, porte un verrou gradué, à l'aide duquel on rétrécit plus ou moins son calibre, suivant des indications calculées à l'avance, afin de maintenir la tension de l'oxygène à un degré suffisant.

En supposant qu'on respire en moyenne de l'air à 45 pour

[1] En réduisant l'appareil à un seul cylindre, que porterait alors chaque voyageur, on pourrait obtenir 230 litres de capacité sous 30 atmosphères, avec un poids de 8 kilogr.; en réunissant, au contraire, 3 cylindres, portés par un guide spécial pour le service de plusieurs voyageurs, on aurait une capacité de 510 litres avec un poids de 17 kilogr.

100 d'oxygène, le volume disponible deviendrait 660 litres, ce qui pourrait suffire à la respiration continue d'un homme pendant plus d'une heure. Mais, dans la pratique, il ne serait pas nécessaire de respirer continuellement l'air suroxygéné. Au mont Blanc, la montagne d'Europe où les malaises sont à leur maximum, cette provision suffirait parfaitement pour le plus susceptible des voyageurs, et en moyenne pourrait éviter à deux ou trois voyageurs ce qu'il y a quelquefois de si pénible dans les angoisses du mal des montagnes; ils n'auraient qu'à venir de temps en temps, aux passages difficiles, respirer quelques bouffées de ce cordial gazeux, boire, suivant l'expression imagée de Sivel, quelques gorgées d'oxygène. Mais on voit que l'emploi de ce moyen ne serait pas sans difficultés, sans inconvénients dans les très-hautes régions, où la respiration suroxygénée devrait être à peu près continue, et même, il faut l'avouer, sans dangers, si une chute violente du porteur venait à faire crever l'appareil.

Il serait certainement bien préférable de pouvoir produire de place en place l'oxygène, aux haltes nécessaires, et au fur et à mesure des besoins, afin de l'emmagasiner dans de petits ballons. Mais jusqu'à présent je ne connais aucune réaction chimique qui puisse être opérée facilement sans le transport d'instruments fragiles ou pesants, dans des conditions pratiques, en un mot, pour les ascensions ordinaires. Mais les expéditions scientifiques de longue durée, comme celles qui séjournent pendant des semaines sur les hautes régions du Thibet, du Ladak, du Pamir, pourraient parfaitement et devraient même emporter l'outillage nécessaire pour se procurer de l'oxygène dans telle circonstance donnée. Il est rare, sans doute, qu'on meure exclusivement par l'effet de l'air raréfié, bien que nous ayons cité des exemples de ce genre de mort; mais son influence redoutable vient augmenter rapidement les dangers de toutes les maladies qui compromettent l'oxydation du sang. Je suis persuadé que si l'on eût pu faire respirer au D[r] Stoliczka (V. p. 1074) de temps en temps de l'oxygène, on ne l'aurait pas vu périr ainsi en deux jours.

Quoi qu'il en soit des difficultés de la réalisation pratique, il est certain que, par la respiration d'un air suroxygéné, le sommet du mont Éverest, la plus élevée des montagnes du globe (8840^{m}), n'est plus théoriquement inaccessible à l'homme, puisque j'ai pu moi-même atteindre sans encombre la pression de 248^{mm}, qui correspond précisément à celle de cette prodigieuse hauteur. Or, à ce niveau, Glaisher est tombé inanimé au fond de sa nacelle, et 200^{m} moins haut, Crocé-Spinelli et Sivel sont morts.

§ 3. — **Habitants des hauts lieux.**

Nous avons vu, dans la première partie de ce livre (p. 19), que les habitations humaines s'élèvent, dans l'Amérique du Sud et dans l'Himalaya, jusqu'au niveau de 4500^{m}; au sommet du Pichincha (4860^{m}), les oiseaux-mouches sont nombreux; la huppe « semble chez elle » à 5500^{m} sur les hauts plateaux du Petit-Thibet (p. 171). Ce sont là les limites extrêmes. Plus bas, entre 2 et 3000^{m}, des millions d'hommes vivent groupés en cités, en nations, dans des conditions où les habitants des bords de la mer éprouvent presque toujours, quand ils s'y sont transportés brusquement, quelque influence pénible, parfois même impossible à supporter. Enfin, sur les collines de 1000^{m} environ, non-seulement on trouve aussi des populations nombreuses, mais les habitants des bords de la mer s'y sentent d'ordinaire, au moins pendant un temps, plus actifs, plus dispos, plus forts que dans leur séjour naturel.

Examinons successivement ces points divers.

Faibles hauteurs. — Nous plaçons leur limite supérieure aux environs de 2000^{m}. L'impression qu'elles produisent sur le voyageur qui vient y séjourner pendant quelques semaines ou quelques mois est, comme nous venons de le dire, généralement favorable. Reportons-nous à ce que nous avons dit de l'aéronaute amené par son ballon à un niveau correspondant; les mêmes observations s'appliqueront à notre voyageur. Il doit y avoir d'abord une tendance à la diminution

de l'oxygène contenue dans le sang, diminution à laquelle l'accélération de la respiration et de la circulation vient, selon toute vraisemblance, apporter une compensation suffisante. Ces accélérations sont réelles, comme le prouvent les observations de M. Jaccoud (p. 310), de M. Vacher (p. 1057). La respiration devient même plus ample, « de manière à mettre en jeu certaines régions paresseuses du poumon qui, dans les conditions ordinaires, ne prennent qu'une très-faible part à l'expansion inspiratoire; ces régions sont les parties supérieures des organes » (p. 311). Selon le docteur Armieux (p. 314), la conséquence en est une augmentation notable de la capacité thoracique, dont la circonférence gagne en moyenne de 2 à 3 centimètres. Or, cette amplitude augmentée des mouvements respiratoires est de grande importance; non-seulement elle introduit dans un temps donné une plus grande quantité d'air dans les poumons, mais encore cet air se distribue mieux et plus utilement dans l'arbre respiratoire. M. Gréhant[1] a fait voir, en effet, que le coefficient de ventilation étant 0,060 pour des inspirations de 300^{cc}, il devient 0,159 pour des inspirations de 600^{cc}, c'est-à-dire de beaucoup plus du double, pour des inspirations doubles. Aussi, dit-il, et ce n'est pas le moins curieux parmi les résultats de ses belles études : « Trente-six inspirations de 300^{cc} faites en une minute (10,8 litres) ne renouvelleront pas les gaz du poumon aussi bien que dix-huit inspirations d'un demi-litre chaque (9 litres) » (p. 537). C'est là une considération dont on n'a pas tenu compte jusqu'ici.

L'appareil circulatoire vient, lui aussi, à la rescousse. M. Mermod (p. 343) a vu son pouls monter de 62 pulsations à 66, puis à 68, en habitant successivement à 300, 600, 1100^{m} d'altitude. Or, ainsi que nous l'avons dit, la rapidité plus grande de l'irrigation des tissus par le sang doit, d'une part, compenser le léger déficit de l'oxygène, d'autre part, diminuer par une sorte de lavage la proportion des déchets organiques retenus dans les tissus.

[1] *Recherches physiques sur la respiration de l'homme. — Journal de Robin*, t. I, p. 523–555, 1864.

Enfin, les substances volatiles étrangères doivent disparaître du sang, et l'acide carbonique y diminuer; cette diminution est légère sans doute, puisque à 1500^{m} (63^{c}) elle doit être environ de 3 vol. sur 40 (V. fig. 31, p. 645), en supposant toutes les autres conditions égales; mais personne ne saurait affirmer qu'elle soit absolument indifférente, et il est permis de penser qu'elle est favorable, au contraire, à l'énergie des propriétés vitales. D'abord, semblable diminution a lieu dans le sang veineux (V. fig. 40, p. 681) et par suite dans les tissus sur lesquels, ainsi que je l'ai démontré (V. p. 982-1019), cet acide agit comme un stupéfiant. On sait, de plus, que le fonctionnement des systèmes musculaire et nerveux a pour conséquence la formation d'acide lactique, et que l'accumulation de cet acide est des plus redoutables pour l'intégrité des fonctions organiques. Or, nous avons vu (V. p. 1039) que le sang artériel ne contient presque jamais de CO^2 dissous et que presque toujours, au contraire, ses bases ne sont pas absolument saturées par l'acide carbonique. Si donc l'alcalinité du sang augmente, les effets de la formation de l'acide lactique peuvent être plus aisément compensés, et un sentiment de mieux être peut s'en montrer la conséquence.

Ajoutons que ces déplacements, déterminés le plus souvent par des raisons de santé ou d'agrément, enlèvent le voyageur aux conditions habituelles et mauvaises de sa vie, le contraignent aux bains d'air, à l'exercice, à une alimentation plus active, lui procurent des digestions plus faciles, le forcent au repos nerveux, l'excitent par la vue des splendides spectacles de la nature, toutes circonstances réalisées au plus haut degré par le séjour dans la montagne.

Grandes hauteurs. — Mais supposons notre voyageur transporté soudain des bords de la mer non à Chamounix (1020^{m}; 67^{c}) ou à Davos (1650^{m}; 62^{c}), mais à la Paz (3720^{m}; 48^{c}), ou surtout à Cerro de Pasco (4350^{m}; 44^{c}). S'il avait, suivant notre hypothèse habituelle, 20 vol. d'oxygène dans son sang artériel et 12 dans son sang veineux, et que rien d'autre ne soit changé en lui, il n'en aura plus que 16 ou 14 volumes environ dans le sang artériel, avec 8 ou 6 dans le sang veineux. On a vu, dans

la première partie que, incontestablement, il sera à Cerro de Pasco, surtout si l'action du froid intervient, frappé du *soroche*, dont la gravité augmentera quand il voudra marcher, grimper, ou, comme d'Orbigny, valser. Les calculs que nous avons faits dans le paragraphe précédent, à propos des voyageurs en montagne, nous rendent un compte suffisant de ces malaises.

Mais, très-probablement, il semblera s'habituer progressivement à cet état de choses, surtout à la Paz (V. p. 41, 47, 58 etc.); au bout de quelque temps, il ne ressentira plus le *soroche* dans l'état de repos, et n'en éprouvera les désastreux effets que s'il se livre à un exercice violent. Il pourra même arriver qu'il y échappe complétement (V. p. 49); il est, ou il paraît être, comme on dit, acclimaté. Y a-t-il donc en lui quelque chose de changé?

On pourrait se demander d'abord si, par une compensation harmonique dont l'histoire naturelle générale nous offre bien des exemples, son sang serait devenu apte, soit par une modification dans la nature ou la quantité de l'hémoglobine, soit par une augmentation du nombre des globules rouges, à absorber plus d'oxygène sous un même volume, et à revenir ainsi à la norme habituelle des bords de la mer? La couleur noire du sang observée jadis par le docteur Jourdanet pendant les opérations chirurgicales, ne serait point une objection absolue à cette hypothèse, puisque nous avons vu (p. 1052) que la couleur rouge du sang dépend non de la quantité d'oxygène qu'il contient, mais du rapport entre cette quantité et celle de l'hémoglobine. Mais il est bien certain que pareil changement, s'il a lieu, ne peut s'opérer qu'à la longue; vraisemblablement même, il ne peut être le fait que de dispositions transmises héréditairement, et ne doit arriver à son complet développement qu'au bout de générations successives, en telle sorte qu'il expliquerait non l'acclimatement de l'individu, mais celui de la race. Mais même pour ce dernier cas, il n'est rien moins que démontré; ajoutons qu'il serait désirable et très-facile[1] de faire juger par l'expérience directe

[1] L'analyse sur place des gaz du sang artériel chez les animaux bien acclimatés ou les animaux sauvages des hautes régions (yacks, lamas, condors surtout) ne

l'hypothèse que je mets en avant sans y attacher grande confiance.

Mais enfin, l'acclimatation au moins apparente, non-seulement des natifs, mais des simples résidents, est chose avérée, lorsque l'élévation ne dépasse pas certaines limites. Comment se peut-elle faire? Dire que c'est parce qu'ils ont pris l'habitude de ces conditions nouvelles, n'est rien expliquer, bien que, le plus souvent, nous soyons obligés d'user de cette expression vague pour désigner des faits d'observation journalière. Comment se fait-il que tel jour d'une température moyenne nous semble chaud en hiver, glacial en été? que telle chambre aux volets fermés est obscure au premier aspect, tandis que ses moindres détails s'éclairent après quelques minutes? Dans le cas particulier qui nous occupe, nous comprenons bien d'une part que des organes, habitués à être irrigués par un sang artériel à 20 pour 100 d'oxygène, habitués à vivre en empruntant à ce sang 8 volumes d'oxygène faciles à dissocier, se plaignent et se révoltent quand le sang artériel ne leur apporte plus que 16 volumes, d'où les 8 volumes nécessaires à la consommation intime deviennent plus difficiles à extraire, et d'autre part, qu'au bout de quelques jours, de quelques semaines de transitions plus ou moins pénibles, ils reviennent progressivement sur leur impression première, fassent effort et soient plus aptes à opérer la dissociation un peu plus difficile à laquelle ils sont obligés. Mais tout ceci, à vrai dire, n'est qu'une paraphrase de l'expression habitude, et n'explique pas grand'chose; il faudrait savoir en quoi consiste cette modification intime des tissus, et nous sommes incapables aujourd'hui de nous en former la moindre idée.

pourra être faite de longtemps. Mais les travaux de M. Jolyet (*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1874) ayant montré que la capacité absorbante du sang pour l'oxygène ne change pas après la putréfaction, rien ne serait plus facile que de recueillir du sang veineux d'homme sain et vigoureux (Européen acclimaté et Indien), ou du sang d'animal, de le défibriner, et de l'envoyer dans un flacon bien bouché; il suffirait ensuite de l'agiter vigoureusement à l'air pour juger de sa capacité d'absorption sur le vivant. 50 centimètres cubes sont bien assez pour chaque analyse.

Ce qui est bien certain, c'est que ce voyageur devenu habitant de la haute montagne n'essaye même pas de lutter contre la diminution d'oxygène de son sang artériel en activant outre mesure ses respirations, comme on l'avait d'abord supposé. Les observations de M. le docteur Jourdanet sont concluantes (V. p. 268). Et cela se comprend. D'abord la gymnastique à laquelle il faudrait se livrer pour faire circuler dans ses poumons la même quantité d'air en poids à 48c qu'à 76c, est évidemment impossible à soutenir, même pendant quelques minutes. En second lieu, elle ne serait guère efficace, puisque nos expériences ont montré (V. fig. 43, graph. B. et C., p. 691) qu'à cette pression la saturation du sang par une agitation parfaite n'y pourrait guère ajouter plus d'un volume et demi d'oxygène, et que, d'autre part, à la pression normale, il y a le plus souvent le même écart moyen entre la richesse du sang artériel et sa capacité maximum. Cependant une légère augmentation dans ce sens ne serait pas inutile, et elle pourrait se produire soit par une accélération, soit par une amplitude plus considérable des mouvements. Le premier phénomène n'a pas lieu, suivant M. Jourdanet; l'étude du second présenterait de grandes difficultés : il faudrait, en effet, placer un compteur à gaz sur le trajet de l'air inspiré ou expiré, observer la respiration pendant un temps très-long afin d'éliminer les modifications intercurrentes, et faire les observations soit, ce qui serait le meilleur mais le moins réalisable, sur une même personne alternativement aux bords de la mer et aux grandes altitudes, soit sur un très-grand nombre de personnes, afin de pouvoir prendre des moyennes.

Si nous supposons, comme cela est probable, que la ventilation pulmonaire a peu ou point changé et si, d'autre part, les consommations organiques sont restées au même degré, il en résultera évidemment que la proportion centésimale, en volume, de l'acide carbonique dans l'air expiré devra avoir augmenté dans le rapport inverse des pressions. A demi-atmosphère, dans cette hypothèse, elle devra avoir doublé ; à deux tiers d'atmosphère (50c de pression, 3300m, à peu près la hauteur de Cuzco) elle devra avoir augmenté d'un tiers, et

de 4,3 pour 100, moyenne au niveau des mers, être devenue 6,5; à Mexico (58[c]), où ont été faites les expériences malheureusement nulles et non avenues de Coindet (p. 273-281 et 289-291), elle devrait être 58 : 76 = 4,3 : x = 5,6. Ce sont là des faits qu'il serait facile d'étudier sur place; un flacon de 200 centimètres cubes dans lequel on ferait une vingtaine d'expirations, de manière à y renouveler totalement l'air, pourrait même, bien bouché avec du caoutchouc chauffé, servir à des analyses à grande distance : je me permets de recommander cette constatation aux voyageurs qui séjourneront sur les hautes régions ou même aux simples ascensionnistes en montagne.

Mais très-probablement, la proportion pour les individus acclimatés sera inférieure à ce que le calcul exige; très-probablement, en d'autres termes, l'intensité des combustions respiratoires aura diminué. Et en ceci consiste probablement ce qu'on appelle l'acclimatation sur les hauts lieux; je m'imagine qu'elle a simplement pour cause une moindre consommation d'oxygène dans un temps donné, une économie dans les combustions, économie qui, dans de certaines limites, n'empêche pas l'intégrité des fonctions organiques. Je reconnais que je quitte ici le sol résistant des conséquences expérimentales directes, pour entreprendre un hasardeux voyage dans la région mobile des hypothèses; mais qu'importe, si l'hypothèse nous conduit non à d'imprudentes conclusions, mais à des recherches nouvelles et fécondes? En ceci comme en tant d'autres matières, qui ne risque rien n'a rien.

Voyons donc.

Or, je suis persuadé qu'à la pression normale, nous consommons beaucoup plus d'oxygène dans un temps donné qu'il n'est nécessaire pour entretenir notre température à son degré normal et constant, et pour satisfaire à la dépense de forces exigées pour les actes musculaires et nerveux. Examinons les chiffres, tels que nous les donne l'état actuel de la science, mais en faisant toutes réserves[1] sur l'exactitude des

[1] Voir à ce propos les judicieuses réflexions de M. Gavarret : *De la chaleur pro-*

valeurs que nous sommes obligés d'employer : au moins nous donnent-elles une approximation.

Admettons qu'un homme pesant 60 kilogrammes produit en vingt-quatre heures 2800 calories de kilogramme[1], et considérons d'abord la dépense de chaleur qui lui serait nécessaire pour entretenir au degré normal (en moyenne 38°) la masse de son corps dans un air dont la température serait de 19°.

Si nous admettons que cet homme fasse passer en 24 heures dans ses poumons 12^{kil} d'air, qui s'échaufferont ainsi de 19°, nous trouverons, la capacité calorifique de l'air étant 0,26, qu'il y aura eu de dépensé ainsi en calories $12 \times 19 \times 0,26 =$ 59,28 calories. L'évaporation pulmonaire de 500^{gr} d'eau (quantité probablement maximum) nécessitera une perte de 292 calories (la chaleur de vaporisation étant 0,582).

L'échauffement des boissons et des aliments, le rejet des urines et des excréments fait perdre une quantité de chaleur qu'Helmholtz estime à 2,6 pour 100 de la perte totale, soit ici 65 calories.

Voici donc une dépense connue, que j'admets comme nécessaire, de $59 + 292 + 65 = 316$ calories. Restent environ 2500 calories perdues 1° par le rayonnement cutané et le contact de l'air 2° par l'évaporation cutanée : celle-ci est en moyenne estimée à 1^{kil}, consommant ainsi 582 calories. Ces pertes sont-elles justifiées, dans les circonstances où nous nous trouvons placés, par les nécessités physiques d'entretien à la température de 38° d'un corps pesant 60^{kil}, ayant environ 13000^{cq} de surface, avec une capacité calorifique à peu près égale à celle de l'eau, et plongé dans de l'air à 19° ? C'est ce que je voudrais bien pouvoir examiner ici. Malheureusement, les données actuelles de la science ne nous permet-

duite dans les êtres vivants. — Paris, 1855, p. 277. Elles sont encore, après vingt ans, applicables aux connaissances actuelles.

[1] Lavoisier avait trouvé, par kilogramme et par heure, une production de 22,9 calories, Barral une moyenne de 23 calories, ce qui ferait pour 60 kilog. et 24 heures, 3300 calories. M. Béclard admet 2500. (*Traité élémentaire de physiologie humaine*, § 166.)

tent pas de résoudre ce problème[1], et il faudrait entreprendre sur ce point des recherches spéciales.

A priori, je ne puis m'empêcher de croire qu'il est superflu de perdre par simple évaporation cutanée un kilogramme d'eau par jour, et par suite 582 calories ; cette dépense ne peut se motiver que par un excès de chaleur produite, que le rayonnement et le contact ne peuvent rejeter au dehors. Comment comprendre que de la chaleur soit produite dans le seul but de la perdre consécutivement ?

Cet excès paraît bien plus fort encore lorsque l'on considère le corps humain produisant du travail ; la chaleur non utilisée devient telle alors qu'une sueur abondante vient

[1] Péclet s'en est occupé sous sa forme la plus générale. (Voir son *Traité de la chaleur considérée dans ses applications*. 3e éd., t. III, p. 418-453. Paris, 1861.) Deux causes concourent à enlever au corps en expérience la chaleur qu'il faut lui restituer : le rayonnement et le contact de l'air. Péclet a trouvé que, dans les limites de température dont nous nous occupons, la valeur du refroidissement par rayonnement dans une heure et pour un mètre carré de surface s'exprime par la formule $kt(1+0{,}0056\,t)$ et celle de la perte d'air au contact par $k't\,(1+0{,}0075\,t)$, t désignant l'excès de la température initiale du corps sur celle du milieu ambiant. Or, le coefficient k varie singulièrement suivant la nature de la surface rayonnante, puisqu'il vaut 0,26 pour le cuivre jaune poli et 4,01 pour le noir de fumée; nous ne pouvons soupçonner quel il est pour la peau humaine, quel il est pour les vêtements. D'autre part, le cofficient k' dépend de la forme et de la grandeur du corps; on peut approximativement, d'après Péclet, en assimilant le corps humain à un cylindre de 1m,70 de hauteur et de 0m,12 de diamètre (surface 12 823cq), le tirer de la formule

$$k' = \left(0{,}726 + \frac{0{,}0345}{\sqrt{12}}\right)\left(2{,}43 + \frac{0{,}8758}{\sqrt{170}}\right)$$

Encore cette valeur ne serait-elle « qu'une appréciation peu précise. »

On voit que les éléments nécessaires pour résoudre le problème que nous nous sommes posé nous font absolument défaut. Il faudrait, pour déterminer la valeur des coefficients k et k', faire appel à l'expérience directe, en se basant sur les principes indiqués par Péclet. On y arriverait en recouvrant de peau humaine fraîchement enlevée et maintenue humide un cylindre creux de métal, affectant à peu près la forme et les dimensions du corps, en remplissant ce cylindre d'eau à 38°, avec un système d'agitateur et de thermomètres destinés à bien brasser l'eau et en suivant alors la marche décroissante de la température.

On aurait ainsi la quantité de chaleur nécessaire pour maintenir notre température à son degré normal pendant l'état de repos, dans la station verticale et l'état de nudité (notons qu'on pourrait par la même méthode étudier l'influence des divers vêtements). Si le chiffre obtenu était notablement inférieur à 2500 calories, on en conclurait que notre hypothèse est vraisemblable.

l'enlever par son évaporation. Or il se peut très-bien que les habitants des montagnes aient une machine mieux réglée, qui, au lieu de ne leur donner en travail que 18 à 20 pour 100 de la force dégagée, soit d'un rendement plus considérable, et par suite n'exige, pour une même dépense dynamique, qu'une absorption moindre d'oxygène et aussi d'aliments.

On voit que nous faisons très-probablement, dans les conditions habituelles de notre vie, des excès d'oxygénation comme des excès de nourriture, deux sortes d'excès corrélatifs l'un à l'autre. Et de même que les paysans, qui se nourrissent beaucoup moins que nous, arrivent, utilisant tout ce qu'ils absorbent, à produire en chaleur et en travail un effet utile égal sinon supérieur à celui des citadins; de même qu'un montagnard basque muni d'un morceau de pain et de quelques oignons accomplit des excursions qui exigent du membre de l'*Alpine Club* qui l'accompagne l'absorption d'une livre de viande, de même il se peut faire que les habitants des hauts lieux arrivent à restreindre la consommation d'oxygène de leur organisme, tout en conservant à leur disposition, soit pour l'équilibre de température, soit pour la production de travail, une même quantité de forces vives. Ainsi s'expliquerait l'acclimatement des individus, des générations, des races.

Mais il convient de considérer non-seulement les actes de nutrition eux-mêmes, mais l'excitation, peut-être moindre, qu'un sang peu oxygéné détermine dans les muscles, les nerfs, les centres nerveux. Nous n'avons aucune mesure de ces faits, mais il est probable qu'il n'est point indifférent pour ces organes délicats, en dehors des questions d'oxydation, de recevoir un sang artériel contenant 20 ou seulement 16 volumes d'oxygène, et il nous est permis de penser que, dans cette dernière condition, ils tendront à être moins actifs dans leur état moyen.

La considération des modifications apportées à la richesse du sang en acide carbonique, que nous avons un peu négligée jusqu'ici, doit, ce semble, nous arrêter davantage, maintenant qu'il s'agit d'un séjour à longue portée. Dans les villes

où nous supposons transporté notre voyageur, par 4000^{m} environ, l'acide carbonique aura diminué de 6 à 7 volumes, en admettant les 40 volumes moyens du niveau de la mer. Le sang, et par suite les tissus deviendront donc ainsi notablement alcalins, et cette modification doit avoir des conséquences dont on devine l'importance, sans pouvoir aujourd'hui en préciser la nature.

En fait, d'après les observations de M. Jourdanet, les habitants des hauteurs, même les natifs Européens, sont, malgré les apparences de la santé, presque tous anémiques[1]. Les maladies, quelles qu'elles soient, celles surtout qui attaquent les organes respiratoires, viennent entraver l'absorption de l'oxygène, et rendent manifeste cette espèce d'anémie latente, due non à la diminution du nombre des globules, mais à leur moindre oxygénation, cette *anoxyhémie*, suivant l'heureuse expression de mon savant confrère et ami. La saignée, à laquelle on pourrait, en souvenir de la médication des bas niveaux, se laisser entraîner, est pernicieuse, et les toniques au contraire rendent de vrais services.

A leur tête il conviendrait de placer la respiration d'un air légèrement suroxygéné, ou encore d'un air comprimé de manière à rétablir la tension normale. J'ai la persuasion que des établissements du genre de ceux de Junod, de Pravaz et de Tabarié rendraient de grands services à Mexico, à la Paz, à Cuzco, à Cerro de Pasco, surtout aux nouveaux arrivés et aux malades.

Mais je m'arrête en me gardant bien de conclure. Il a dû me suffire de montrer dans quelles conditions physiologi-

[1] A l'appui de la thèse de M. Jourdanet sur les dangers réels de l'habitation continue des hauteurs, sujet que je ne fais qu'effleurer, renvoyant à son beau livre pour une étude complète, je citerai l'assertion suivante de Reissacher (*Chemische Briefe*, t. II, p. 481), que j'emprunte du reste à George von Liebig, p. 450 (*Deutch. Archiv. f. Klin. Med. f.* 1871) :

« D'après les déclarations des directeurs des mines du Böckstein, sur le haut du Goldberg, dans le Rauris (2433^{m}, P 56^{c}), les mineurs ne peuvent plus travailler après 40 ans, et à Rathhausberg, sur le Böckstein (de 1996^{m}, P 59^{c} à 2166^{m}, P 58^{c}), ils sont hors de service dans la 50e année... Les chiens et les chats ne peuvent vivre au Goldberg ; ils succombent à la paralysie des extrémités et aux troubles respiratoires. »

ques doivent se trouver les habitants des hauts lieux, et comment on comprend qu'ils se puissent accoutumer à ces graves perturbations. Pour la réalité et la solidité de cette accoutumance chez les individus, sa transmission de génération en génération, l'immunité apparente de certaines races humaines ou espèces animales, ce sont là questions dont je comprends toute l'importance, mais qui incombent à l'hygiéniste ou au naturaliste, et dont la solution, du reste, ne peut ressortir d'expériences de laboratoire. Or, c'est sur le terrain expérimental, qui m'est familier et où je suis sûr de mes pas, que je me veux obstinément maintenir.

§ 4. — Vie animale et végétale sur les hautes régions.

Les animaux sauvages ou importés qui habitent les hautes régions des Cordillères et de l'Himalaya nous présentent le même problème que les humains dont nous venons de parler. Pour ceux-là comme pour ceux-ci, les indigènes, espèces ou races, résistent infiniment plus que ceux qui sont venus leur faire concurrence. Les yacks indiens, les lamas américains peuvent servir de bêtes de somme sans souffrir aucunement, là où les mulets et les chevaux périssent souvent de la décompression.

Les oiseaux peuvent s'élever plus haut encore que les mammifères, le condor surtout, qui monte en volant jusqu'à 7000^m, et plane pendant des heures à ces hauteurs où l'aéronaute immobile commence à ressentir d'importants malaises, où les frères Schlagintweit ne sont arrivés sur le flanc des montagnes qu'au prix de vives souffrances dues à l'air raréfié. Or, dans mes cloches à dépression, les oiseaux se sont montrés plus sensibles que les mammifères, et les oiseaux de proie que nous avons mis en expérience étaient presque aussitôt malades que les passereaux. Comment se rendre compte de cette double contradiction entre des faits également certains?

Nous avons vu que les explications proposées ne pouvaient nous satisfaire, et j'avoue que je n'en ai pas d'autre à propo-

ser. Il me faudrait, pour en tenter une, être d'abord maître de faits expérimentaux qui me sont absolument inconnus. Tout d'abord il faudrait, en vases clos, essayer sur des condors les effets de la décompression, et cela non sur des animaux de ménagerie, acclimatés peut-être à la forte pression barométrique de nos contrées, mais sur des condors saisis vigoureux dans leur habitat ordinaire : conditions difficiles à réaliser. Il faudrait encore connaître la richesse en oxygène de leur sang, et surtout, ce qui est facile à constater, comme je l'ai indiqué plus haut (p. 1108), sa capacité pour l'oxygène. La quantité de sang qu'ils contiennent serait encore un élément intéressant. Rien ne serait plus curieux, enfin, que de tâcher d'établir par des analyses d'air, des pesées alimentaires, des mesures calorimétriques, leur équation respiratoire et nutritive.

Peut-être, tout ceci constaté, serait-il possible de se rendre compte de la résistance étrange qu'ils présentent, même en développant le travail considérable de l'ascension au vol, à l'influence de l'air raréfié.

Je rappellerai, en terminant ce chapitre, que les végétaux sont, au même titre que les animaux, impressionnables par la moindre tension de l'oxygène qu'ils respirent sur les hauts lieux. Cet élément a été jusqu'ici négligé par les botanistes, préoccupés justement dans l'étude de la distribution géographique sur les montagnes des influences de la température, de l'intensité des rayons solaires, de l'état hygrométrique. D'ordinaire, ils n'en parlent pas, ou bien ils en dénient l'importance. C'est ainsi que M. Radau[1], signalant ce fait que certaines plantes des altitudes ne peuvent vivre dans nos contrées avec des températures analogues à celles de leur pays natal, dit expressément : « La pression atmosphérique n'est probablement pour rien dans les faits de cet ordre. » Mais mes expériences montrent que la végétation, que la germination plus encore peut-être, sont ralenties singulièrement dans l'air raréfié. Elles mettent aussi en lumière une

[1] *Les derniers progrès de la science.* — Paris, 1868, p. 108.

certaine inégalité de résistance entre divers types végétaux, les crucifères paraissant moins susceptibles que les graminées. Enfin, coïncidence qui a de l'intérêt, nous avons vu que les phénomènes de la vie végétale s'arrêtent précisément à la pression de 7c de mercure, qui est funeste à tous les animaux. C'est donc avec cette faible tension de l'oxygène (2,5) que les oxydations organiques arrivent chez tous les êtres vivants à se ralentir tellement qu'elles ne suffisent plus à l'entretien de l'équilibre vital.

§ 5. — Applications médicales.

Je me hâte de déclarer que je ne fais qu'indiquer ce point, qui sort du cadre de mes études. M. le docteur Jourdanet a eu, le premier, l'idée d'appliquer l'air artificiellement raréfié au traitement de diverses maladies, et notamment de l'anémie et de la phthisie. Je renvoie à ses livres pour l'étude des résultats obtenus. Avant lui et depuis lui, l'habitation des hauteurs a été et est recommandée surtout aux phthisiques; ce mode de traitement date, dans les Andes, de la conquête espagnole, et suivant Tschudi, les médecins en font un tel abus que « souvent les malades laissent leur vie dans la Cordillère » (p. 49). En Europe, le séjour sur les hauts lieux et particulièrement dans l'Engadine, n'est conseillé que depuis peu de temps; mais déjà il s'est mis fort à la mode, ce qui prouve qu'il est utile à beaucoup de monde et probablement aussi aux malades.

Je ne voudrais qu'appeler l'attention des médecins sur l'avantage qu'on pourrait peut-être retirer dans certains cas (fièvres ou inflammations), d'une décompression assez forte pour enlever au sang une notable partie de son oxygène, et peut-être même pour abaisser la température du corps. Il y aurait là, ce me semble, une médication *altérante* d'une grande puissance; mais je m'arrête en déclinant ma compétence sur ces matières difficiles.

CHAPITRE II

AUGMENTATION DE PRESSION.

SOUS-CHAPITRE PREMIER

OBSERVATIONS, THÉORIES ET CRITIQUES RÉCENTES.

§ 1er. — **Fortes pressions.**

L'étude des fortes pressions barométriques n'a été l'objet d'aucun travail récent. Les résultats de mes expériences sur l'action de l'oxygène à forte tension ont été acceptés sans conteste, je pourrais même dire sans critiques, par les physiologistes. De même, pour les effets de la décompression brusque et leur explication démontrée par mes travaux, aucun fait nouveau, ni dans l'ordre industriel ni dans l'ordre scientifique, ne s'est produit qui puisse être rapporté ici. Je ne ferai d'exception que pour un très-curieux travail de M. Guichard[1], ingénieur des plus expérimentés dans l'application de l'air comprimé et très-habitué personnellement à l'usage du scaphandre.

Le mémoire de M. Guichard se compose de deux ordres d'observations. Les plus nombreuses sont relatives au séjour dans des gaz délétères (CO, CO^2, C^2H^4, SO^2, etc.); celles-ci, malgré leur grand intérêt pratique, et les détails dramatiques de l'une d'elles (obs. VIII), n'ont aucun rapport avec le sujet

[1] *Observations sur le séjour dans l'air comprimé et dans différents gaz délétères.* — *Journal de Robin*, t. I, p. 452-476, 1875.

de nos études. Dans les autres, il est question de la respiration dans l'air comprimé; j'en reproduis deux, intéressantes à divers titres :

Obs. XIV. — *Sept plongeurs sont pris successivement d'épistaxis sous une pression d'une colonne d'eau de 9 mètres.* — Pour montrer l'usage d'un nouvel appareil de respiration artificielle, je descendis dans un vaste bassin de maçonnerie contenant de l'eau très-limpide sur une profondeur de 9 mètres. L'ascension et la descente furent exécutées sans aucune précaution de temps, vu la faible pression *maxima* à supporter, et l'habitude que j'avais de m'y soumettre.

Je fis ensuite descendre avec plus de précaution, successivement, sept ouvriers mineurs, Sardes de naissance, et travaillant ordinairement à l'extraction du minerai de plomb. Leur constitution était un peu débile. Ils étaient exposés depuis plusieurs années à des fièvres paludéennes régnant dans le pays tout l'été. Ces hommes vivaient mal, se nourrissant presque exclusivement de légumes et de fruits; ils couchaient en plein air pendant six mois de l'année. Ils étaient en général nonchalants et fournissaient une faible somme de travail quotidien.

Ces détails expliqueront peut-être que tous furent pris d'épistaxis plus ou moins abondantes après avoir supporté pendant quatre à cinq minutes, quelques-uns dix, une pression atmosphérique correspondant à 9 mètres d'eau, profondeur totale du bassin où ils descendirent. Le fait est que sans exception ils remontèrent, le sang sortant par le nez, et chez quelques-uns par les oreilles.

En général les accidents de cette sorte ne se produisent qu'à de très-grandes profondeurs, 35 ou 40 mètres, surtout quand la décompression est trop rapide.

Obs. XVI. — *Commencement d'asphyxie en vase clos sous 3 mètres d'eau.* — Je suis descendu muni d'un appareil dans un petit bassin circulaire de 3 mètres de profondeur et de 4 mètres de diamètre. L'eau était très-trouble, et malgré le peu de profondeur, l'obscurité était presque complète; il était impossible de distinguer rien à l'extérieur. Des aides inexpérimentés manœuvraient l'appariel à comprimer l'air.

Je m'étais désorienté presque dès les premiers pas au fond du bassin, et la corde de signaux qui n'était pas maintenue de l'extérieur ne pouvait m'aider à retrouver le point où était l'échelle permettant le retour. Ce fut dans ces circonstances que l'air me manqua subitement. Du moins je ne pouvais plus user que d'une réserve approvisionnée dans le récipient qui m'enfermait. La capacité totale de cette réserve d'air pur était d'environ 30 litres. En faisant, en moyenne, douze aspirations de 75 centilitres par minute, je commençai après trois minutes à respirer un air déjà respiré. Pour échapper à une asphyxie imminente, je pris, dès le début, le soin de commencer à séparer de l'appareil les surcharges de plomb qui me retenaient au fond, de façon à pouvoir remonter à la surface. Je parvins facilement à détacher l'un de ces poids, mais le second était encore retenu

par une corde, lorsque tout effort me devint impossible. J'étais dans un état de transpiration abondante. J'avais un sentiment de très-vive chaleur à la tête, mais qui allait en diminuant vers les membres inférieurs; ceux-ci me semblaient froids; j'eus quelques fourmillements dans les pieds.

Je respirais très-vite et comme si je n'avais pas pu vider mes poumons par expiration. Cette impression particulière consistant à me faire croire que je ne pouvais expulser l'air renfermé dans mes poumons fut très-distincte. Je la signale d'une manière toute spéciale. Loin de souffrir de ne pouvoir aspirer, j'eus le sentiment de ne pouvoir expirer l'air. La sensation me parut à peu près celle qu'on devrait éprouver si l'on vous enterrait jusqu'au cou, et qu'on vous mît la tête dans un bain de vapeur à haute température.

J'eus des tintements d'oreilles et des cercles lumineux devant les yeux.

L'air me revint alors, et les accidents disparurent. Je me remis en quelques minutes, je rattachai mes plombs, et je séjournai encore dix minutes dans l'eau pour ne remonter que tout à fait en état normal.

J'en fus quitte pour un assez violent mal de tête, qui avait disparu le lendemain. J'avais fait environ un séjour de trois à quatre minutes dans un espace clos contenant 30 litres d'air. J'eus le pouls vif et plein pendant les deux heures qui suivirent l'expérience. La salivation était difficile. J'eus quelques frissons légers et de la courbature. Je dormis bien la nuit.

J'ai, dans la partie historique (p. 406), rapporté avec la discrétion convenable, le récit d'accidents survenus dans l'exécution d'importants travaux exécutés par une grande Compagnie française. Je puis aujourd'hui parler plus clairement, le médecin de cette Compagnie ayant publié sur ces faits un mémoire fort intéressant[1]. Il s'agit de la construction d'un pont sur le Limfjord, en Danemark; le docteur Heiberg, d'Aalborg, rapporte que la pression totale est montée jusqu'à 4, 5 atmosphères; les ouvriers restaient de 2 à 5 heures dans la chambre de travail :

Les ouvriers, après être restés dans la cloche sous l'action de l'air comprimé, et être descendus dans la chambre sous cette même pression, qui à la fin des fonçages atteint 3 atmosphères 1/2 (en plus de la pression atmosphérique), éprouvent tous les mêmes symptômes : un fort bourdon-

[1] *Sygdomsformer hos Arbejderne ved Fastbroanlægett over Limfjorden Ugeskrift for Læger. Kjobenhavn*, 25 nov. 1876, p. 377-386.

nement dans les oreilles, une respiration fatigante, tandis que le pouls bat plus lentement, 60 à 70 par minute, une pression sur le tympan qui s'en va en général par des mouvements de déglutition, le nez étant fermé, manœuvre que les hommes exercent toujours pour se soulager. En dehors des indispositions ci-dessus, les hommes se portent bien en faisant leur travail, le danger ne doit donc pas être attribué à la pression de l'air comprimé. Quelquefois les ouvriers sont gênés par différents gaz qui se dégagent du fond du fiord ; il s'est même produit une fois une explosion de ces gaz qui a occasionné de fortes brûlures à trois ouvriers ; mais, en général, le séjour dans l'air comprimé ne présente aucun danger. Par contre, cela change tout à fait quand les hommes sortent et que la décompression s'opère trop rapidement.

Les phénomènes remarquables des maladies qui se produisent alors sont les suivantes : douleurs atroces sur toutes les parties du corps, accompagnées d'un picotement insupportable dans la peau, forte oppression au cœur, battements plus forts, pouls plus vite, 110-130, grande lourdeur dans la tête, assoupissement, paralysie complète dans les parties inférieures, la vessie et le rectum, développement d'emphysèmes sur plusieurs parties du corps, le plus souvent sur la poitrine, sous les aisselles et sur les bras, douleur à la pression sur l'épine dorsale et dans la région lombaire.

Ces symptômes se produisent généralement dès que les ouvriers sont sortis, mais aussi quelquefois après un délai de quelques heures. Ainsi, un ouvrier qui était sorti bien portant, est tombé subitement frappé en rentrant chez lui et est mort à l'instant.

Chez plusieurs ouvriers, les accidents se guérissent au bout de quelques jours ; chez d'autres, la paralysie persiste et devient souvent incurable. J'ai traité deux hommes chez qui la paralysie sur la vessie et le rectum s'est améliorée ; la sensibilité et les mouvements sont revenus, mais la marche est restée chancelante. On a dû les rapatrier tous les deux comme ne pouvant plus reprendre leur travail.

Le docteur Heiberg donne alors d'intéressants détails sur l'autopsie des deux ouvriers qu'il avait vus mourir et sur les symptômes présentés par les malades qu'il a observés. J'ai déjà (p. 407) donné un résumé très-court des résultats d'une de ces autopsies, celle de Kiva, mais nous sommes ici mieux renseignés :

Kiva Ferdinando, trente ans, fut frappé, en sortant de la chambre du travail, de douleurs dans les membres, avec paralysie complète de la vessie, du rectum et des parties inférieures ; il est à moitié évanoui, cyanotique, sa respiration est râlante, on entend des sons de râle humide dans les poumons, le pouls est petit et rapide. On l'amène à l'hôpital le 26 juillet 1875 ; son état ne change pas, la paralysie se tient au même

endroit, il a du délire continuel, puis survient le collapsus, et la mort arrive le 30 juillet dans la nuit. A l'autopsie on trouve les poumons remplis de sang, avec une sécrétion des bronches mêlées de sang et d'une lymphe écumante. La moelle épinière était tout à fait ramollie sur une étendue de quelques pouces dans la région dorsale inférieure et lombaire supérieure. Le ramollissement était limité avec précision, sans trace de sang, d'inflammation ou d'exudat. Dans le cerveau, le cœur, les reins et la rate, rien d'anormal; mais mon attention n'était pas encore fixée sur le développement de l'air dans les veines, parce que cela m'était inconnu à cette époque.

L'autre cas, qui finit également par la mort, n'a pu être observé sur le vivant. L'ouvrier retournait chez lui ayant l'air bien portant. Chemin faisant, il se sent malade et tombe mort comme frappé par la foudre. Le lendemain, on fait l'autopsie, le corps s'est déjà raidi; on remarque une forte coloration de cyanose sur le corps, particulièrement sur la poitrine, sous les aisselles et sur le bras gauche, où l'on éprouve une sensation emphysémateuse très-distincte; en faisant une incision à ces endroits, il sort une lymphe sanguinolente, avec un fort mélange d'air; la rate très-emphysémateuse petille sur toute la surface à la pression, et, en faisant l'incision, il sort un sang mélangé de beaucoup d'air; point de bulles d'air dans l'aorte, la veine jugulaire, les artères iliaques et crurales. Les reins et le foie sont à l'état normal, la vessie urinaire vide, un développement d'air dans l'épiploon, le cerveau pas rempli de sang, des bulles d'air très-distinctes et très-volumineuses dans l'artère basilaire, dans le sinus et dans les veines de la surface supérieure du cerveau; entre ces bulles d'air, des taches de sang très-petites, presque liquides. L'estomac était très-allongé, et contenait une certaine quantité de nourriture végétale. On n'a pas fait de recherches dans la moelle épinière parce que l'examen minutieux des veines a demandé beaucoup de temps pour faire les ligatures.

Bien que ces deux autopsies soient imparfaites à un très-haut degré, et qu'elles laissent beaucoup à désirer, il me semble qu'elles sont tout à fait d'accord. Dans le premier cas, où les phénomènes de la maladie s'étaient développés pendant plusieurs jours, et où les bulles s'étaient rencontrées et concentrées dans la moelle épinière, il se produit un ramollissement complet tout à fait conforme aux expériences de P. Bert. Dans le second cas, où la mort fut instantanée avant que les bulles se soient avancées aussi loin, il se trouve des bulles d'air dans les veines du cerveau, avec des emphysèmes sur plusieurs endroits, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur, et tout à fait conformes à ce que P. Bert a constaté et affirmé comme étant l'effet physiologique du passage d'une forte pression à la pression atmosphérique. La dernière autopsie paraît aussi démontrer que trois quarts d'heure sont un délai trop court pour éviter des dangers, la pression étant de 3 atmosphères 1/2. Cependant il n'est pas impossible que le solide repas de légumes qui se trouvait dans l'estomac ne soit pour quelque chose dans l'accident.

J'ai traité à l'hôpital quatorze malades, dont un est mort et deux ont été rapatriés comme incapables de reprendre le travail. Onze cas ont été moins graves, ils se guérirent après quelques jours; chez tous on observait les symptômes caractéristiques à un degré plus ou moins fort, notamment fortes douleurs dans les membres, serrement cardiaque, respiration pénible, cyanose, douleur à la pression le long de la colonne vertébrale dans la région lumbo-dorsale, marche traînante, difficultés pour uriner; dans deux cas, paralysie complète de la vessie, du rectum et des parties inférieures, avec affaiblissement. Je n'ai pas remarqué le développement des emphysèmes sous la peau; mais les ouvriers affirment qu'ils existent. J'ai été présent au moment de la sortie des ouvriers de la cloche, et je n'ai pas observé cet accident; mais je dois ajouter qu'aucun des ouvriers que j'ai examiné de cette manière n'est tombé malade.

Les deux cas où la paralysie s'est améliorée, mais où la situation des malades est restée telle qu'ils n'ont pu reprendre leur travail, et ont dû être rapatriés, l'un à Prague et l'autre à Milan, étant fort semblables, je vais en communiquer un.

Eger Mayer François, trente-quatre ans, fort bien bâti, est amené à l'hôpital le 23 juillet 1875; il était tombé malade de suite après sa sortie de la cloche : douleurs ordinaires, paralysie complète dans les parties inférieures, vessie et rectum, beaucoup de douleur en pressant sur les régions lumbo-dorsales. On employa des ventouses, des courants induits électriques, des bains tièdes et des douches. Dès le 1er août, il pouvait uriner seul, la paralysie du rectum persistait, il y avait un peu de catarrhe de vessie, mais l'urine était normale. Le 18 août, il pouvait se tenir debout et marcher avec des béquilles, et ensuite avec deux bâtons. Son état s'améliorait sensiblement, il prenait des bains de vapeur, de la noix vomique, et l'on continuait l'électricité; enfin la paralysie du rectum s'améliorait aussi; il faisait de plus longues promenades, mais la marche restait chancelante. Le 2 novembre, on l'envoya à Prague, et dans ces derniers jours j'ai appris qu'il était mort après un assez long séjour à l'hôpital.

L'état du second malade était presque le même, seulement la paralysie de la vessie a duré plus longtemps; après un séjour de plusieurs mois à l'hôpital il pouvait se promener assez longtemps. Mais comme il ne pouvait reprendre son travail, on a dû le rapatrier à Milan.

La Compagnie de Fives-Lille, qui exécutait ces travaux, m'ayant consulté à propos de ces accidents inquiétants, je donnai le conseil : 1° de décomprimer plus lentement encore; 2° de disposer des appareils de réchauffement pour éviter aux ouvriers les douleurs insupportables et les dangers du refroidissement dans la chambre à décom-

pression. J'ai eu la satisfaction de recevoir peu de temps après, d'un des administrateurs de la Compagnie, la note ci-après :

Nous avons transmis à notre chantier d'Aalberg les renseignements que vous avez bien voulu nous donner sur les précautions à prendre pour le travail des hommes à de fortes pressions.

Nous avons dépassé la profondeur de 32 mètres au-dessous du niveau de l'eau, et les accidents ont disparu par suite de l'augmentation de la durée de l'éclusage de sortie.

§ 2. — Faibles pressions. Appareils médicaux.

L'action des faibles pressions n'a donné lieu, dans les dernières années, qu'à un petit nombre de travaux. Mais deux d'entre eux sont d'une importance considérable au point de vue théorique.

M. J. Pravaz a soutenu, le 9 août 1875, devant la Faculté des sciences de Lyon, une thèse sur les effets de l'augmentation de la pression atmosphérique, thèse dans laquelle il étudie successivement la circulation, la respiration, la nutrition.

Relativement à la première de ces fonctions, il constate, avec tous les observateurs anciens, un certain ralentissement du pouls pendant le séjour dans l'air comprimé, et il l'explique : 1° par l'augmentation de la température du corps, agissant secondairement sur le cœur ; 2° par l'augmentation de la tension artérielle. Celle-ci aurait pour cause l'obstacle direct apporté au cours du sang par l'air comprimé agissant pour « refouler des parties périphériques le sang des capillaires et des veines (p. 23). » On voit que M. Pravaz accepte la théorie de l'écrasement superficiel dans l'air comprimé ; il considère comme démonstrative l'étrange expérience de Vivenot que nous avons plus haut rapportée (p. 493) et appréciée à sa juste valeur (p. 515). Nous ne croyons pas utile de revenir sur la réfutation de ces erreurs.

La respiration devient, dit-il, à la fois moins fréquente et plus ample, au moins jusqu'aux environs de une demi-at-

mosphère de compression; au delà (M. Pravaz va jusqu'à deux atmosphères en tout), il y a mouvement en sens inverse. L'explication de ces faits est celle qu'avait déjà donnée Ch. Pravaz (V. p. 466), dont son fils adopte sur tous les points les opinions. Les modifications dans l'amplitude ont été mesurées à l'aide de l'anapnographe de MM. Bergeon et Kastus : si l'on exprime par 100 l'étendue du mouvement respiratoire à la pression normale, elle devient 106 à 19^{c} de pression, 118 à 38^{c}, 109 à 76^{c}. Mais M. Pravaz n'a pas cherché à étudier la relation entre la fréquence et l'amplitude, de manière à déterminer les variations dans le débit, dans la ventilation pulmonaire, ou, en d'autres termes, dans la quantité d'air qui traverse les poumons pendant un temps donné.

La partie la plus originale de la thèse est celle qui a rapport à l'étude des variations dans la production de l'urée. M. Pravaz a fait sur ce point cinq expériences :

Dans la première, il mesure l'urée rendue pendant vingt-quatre heures d'abord à la pression normale, puis sous des pressions augmentées de 10 à 76^{c} : l'urée a diminué (moyenne : de 29^{gr},6450 à 28^{gr},4448).

La seconde a été conduite de même, avec la précaution en plus de se soumettre à un régime alimentaire déterminé et régulier : augmentation de l'urée (moyenne : de 29^{gr},1685 à 31^{gr},4947).

La troisième, semblable à la seconde, a donné une diminution (moyenne : de 27^{gr},2401 à 26^{gr},2224).

Dans la quatrième, la méthode a été changée. Il y a toujours régime identique (ce régime, qui me semble bien pauvre en carbone et un peu exagéré en azote, était composé de pain 250^{gr}, viande dégraissée 200^{gr}, fromage sec 100^{gr}), mais l'urine n'est recueillie que le matin, à jeun, pendant trois heures, soit à l'air libre, soit sous pression. Ici, augmentation dans l'air comprimé (moyenne : de 3^{gr},2019 à 3^{gr},4965).

Enfin, dans la cinquième, conduite comme la précédente, l'excrétion d'urée a été étudiée d'heure en heure pendant le séjour dans l'air comprimé; les moyennes sont : à l'air libre 0^{gr},9492; pendant la première heure de compression

$1^{gr},0758$; pendant la deuxième $1^{gr},0651$; pendant la troisième $1^{gr},0363$; dans l'heure qui suit, à la pression normale $0^{gr},7178$.

M. Pravaz conclut de ces faits :

1° Que l'excrétion de l'urée augmente sous l'influence de l'air comprimé ;

2° Que cette augmentation est à son maximum au début de la compression ;

3° Qu'elle est plus forte aux faibles pressions (à 20^c environ) qu'aux pressions fortes (de 30 à 76^c).

4° Qu'après la décompression il y a diminution dans la production de l'urée.

Les expériences sur l'exhalation de l'acide carbonique ne portant que sur la proportion centésimale de ce gaz dans l'air expiré, et non sur la quantité rendue dans un temps donné, ne pouvaient fournir de résultat vraiment intéressant.

Enfin, M. Pravaz croit pouvoir conclure de ses observations sur la température, qu'elle suit exactement la même marche que la production de l'urée : les écarts maxima sont, dans le rectum, de $0°,34$.

Je renvoie au mémoire original pour la lecture des explications que M. Pravaz donne des oscillations dans les phénomènes nutritifs qu'il croit avoir constatées. Je considère, quant à moi, qu'une seule expérience ne peut permettre de conclure, et qu'il convient de suspendre son jugement sur la question de savoir si les combustions n'augmentent réellement que pendant les premiers moments du séjour dans l'air comprimé. Quant aux observations qui embrassent la période de vingt-quatre heures, la première doit être éliminée d'abord, l'alimentation n'ayant pas été réglée. Pour les deux suivantes, il n'y a pas eu de précautions prises au point de vue du travail musculaire : « l'exercice, dit lui-même M. Pravaz, était nécessairement variable d'un jour à l'autre, et donnait lieu à des changements dans la production de l'urée, ce qui pouvait introduire dans le problème une inconnue non déterminable (p. 43) ; » on doit donc n'en pas tenir compte. Enfin, la quatrième présente des irrégularités qui

paraissent enlever toute valeur aux moyennes qu'on en tire; pendant trois heures à jeun, les quantités d'urée obtenues ont été :

1er jour.	Pression normale.	3gr,0075
2e —	10e de compression.	3 ,1933
3e —	19e —	3 ,6990
4e —	38e —	3 ,5685
5e —	57e —	3 ,2711
6e —	76e —	3 ,7507
7e —	Pression normale.	3 ,3963

On voit, du reste, que le maximum de la production a coïncidé avec la plus forte pression, ce qui ne concorde pas avec l'opinion de l'auteur.

Sans insister davantage sur cette analyse critique, je reproduis la conclusion générale de M. Pravaz :

Si l'on envisage à un point de vue général les effets de l'augmentation de la pression atmosphérique sur l'économie animale, on est conduit à distinguer dans l'action qu'exerce l'air comprimé deux éléments : l'élément *pression* et l'élément *suroxygénation.*

De l'élément *pression* ou *mécanique* relèvent principalement les modifications qui se produisent dans le rhythme et l'amplitude de la respiration.

Les modifications éprouvées par la circulation et la nutrition sont la résultante du conflit qui s'établit entre l'élément *suroxygénation* et l'élément *pression,* le premier tendant, par la suractivité qu'il donne aux phénomènes chimiques qui se passent dans les tissus, à augmenter la production de l'urée et de l'acide carbonique, d'où l'élévation de la température, et, consécutivement, l'accélération des battements du cœur qui se remarquent dans les premiers instants de séjour dans une atmosphère plus dense; le second tendant, au contraire, par les modifications qu'il apporte dans les conditions physiques du cours du sang, et par l'augmentation de la tension artérielle qui en résulte, à jouer le rôle de *modérateur* en diminuant, par le ralentissement consécutif de la circulation, la rapidité des combustions organiques et la production de la chaleur en raison de la durée du séjour dans l'air comprimé et de l'élévation de la pression. (P. 65.)

Georges Liebig, dont nous avons déjà analysé les travaux (V. p. 456 et 500), a récemment publié un mémoire considérable[1], où il s'est proposé pour but spécial l'étude de l'excrétion de l'acide carbonique à la pression normale (en moyenne

[1] *Ueber die Sauerstoffaufnahme in der Lungen bei gewöhnlichem und erhöhtem Luftdruck. Pflüger's Archiv.,* Bd. X, p. 479-536; 1875.

TABLEAU XXII.

1 DATES DES EXPÉRIENCES	2 PRESSION BAROMÉTRIQUE	3 NOMBRE DES MOUVEMENTS RESPIRATOIRES DANS UNE MINUTE	4 QUANTITÉ D'AIR INSPIRÉ EN QUINZE MINUTES (litres)	5 VALEUR MOYENNE DE CHAQUE INSPIRATION (litres)	6 QUANTITÉ D'O ABSORBÉ EN QUINZE MINUTES (grammes)	7 QUANTITÉ DE CO^2 FORMÉ EN QUINZE MINUTES (grammes)
A. — Pression normale.						
15 novembre. . . .	720mm	15,3	116,5	0,51	7,171	6,750
		15,7	117,9	0,50	6,465	6,630
16 novembre. . . .	719	15,5	129,2	0,56	8,019	7,719
		17,5	128,0	0,48	7,305	7,647
		14,6	115,2	0,53	6,380	7,093
17 novembre. . . .	722	17,1	123,8	0,48	7,945	8,132
		15,5	118,1	0,51	8,078	6,373
		16,0	120,2	0,50	7,187	8,012
18 novembre. . . .	719	17,0	127,5	0,50	8,345	8,710
		15,0	114,8	0,51	7,653	8,119
		19,6	129,6	0,44	7,972	7,476
28 novembre. . . .	720	18,2	118,6	0,43	6,935	6,887
		17,0	109,1	0,43	5,792	6,014
		18,2	108,4	0,40	5,675	5,747
17 mai.	710	15,7	112,4	0,48	6,657	6,782
		15,5	103,2	0,44	5,112	6,030
23 mai.	723	17,5	117,9	0,45	7,327	7,097
Moyenne.	719	16,5	118	0,48	7,058	7,132
B. — Pression augmentée.						
22 novembre. . . .	1039	15,0	113,4	0,50	7,833	7,330
		15,6	111,5	0,47	7,387	6,479
		15,6	106,4	0,45	6,563	5,824
23 novembre. . . .	1039	16,4	114,5	0,46	8,273	7,246
		15,4	107,8	0,47	6,481	6,322
		16,2	111,0	0,46	7,574	6,602
25 novembre. . . .	1040	15,8	107,2	0,47	7,719	6,535
		16,5	102,9	0,42	7,298	7,691
		16,2	105,8	0,44	7,107	7,244
26 novembre. . . .	1040	15,2	104,6	0,46	6,854	6,424
		15,9	107,4	0,45	6,783	7,551
		16,2	107,6	0,44	7,494	8,192
20 mai.	1038	15,3	115,6	0,50	8,814	8,737
		15,5	112,1	0,48	7,869	8,082
21 mai.	1043	16,5	118,5	0,48	8,879	8,455
		16,1	115,1	0,48	7,804	8,015
		16,1	115,2	0,48	7,546	7,358
22 mai.	1042	15,6	104,0	0,44	7,185	6,297
		15,7	109,4	0,46	7,413	6,722
		15,6	105,9	0,45	6,954	6,842
Moyenne.	1040	15,9	110,0	0,46	7,481	7,197

720^{mm}) et dans l'air comprimé (en moyenne 1040^{mm}). La personne en expérience était un homme de 39 ans, pesant 59^{k}, avec une capacité pulmonaire de $3^{l},9$; son régime de vie était fort régulier, et l'auteur en indique les détails (p. 504); les expériences étaient toujours faites à la même heure. Le patient, assis, une sorte de masque sur la bouche et le nez, respirait pendant 15 minutes une quantité d'air mesurée par un compteur à gaz; l'appareil employé, et dont nous ne pourrions donner ici la description, est celui du professeur Jolly[1]. On pouvait conclure des analyses à la fois le volume d'air qui avait traversé les poumons pendant la durée de l'expérience (15 minutes), la quantité d'acide carbonique produit, la quantité d'oxygène qui restait dans l'air expiré, d'où l'on concluait, l'azote étant supposé invariable, la quantité d'oxygène absorbé.

Je reproduis ci-contre le tableau résumé (tableau XXII) de ses trente-sept expériences.

C'est sur cette importante série d'analyses que G. Liebig fait rouler une discussion qui n'est pas toujours très-claire, et dont nous allons essayer de dégager les points principaux.

Tout d'abord, il dispose ses expériences en plusieurs séries, ce qui lui permet de comparer plusieurs moyennes; ces séries sont établies d'après les chiffres de la colonne 4, c'est-à-dire d'après la quantité d'air qui a circulé dans les poumons pendant quinze minutes. A la pression normale, par exemple, la première série comprend les expériences où la circulation pulmonaire a varié de 121 à 130 litres. Les nombres de la colonne 2 du tableau XXIII indiquent les limites pour chacune des séries; dans les autres colonnes sont inscrites les moyennes qui leur correspondent.

Si l'on considère d'abord le côté chimique de la question, on voit que dans la moyenne générale (tableau XXII), comme dans chaque moyenne particulière des séries d'égal rang (tableau XXIII), la consommation d'oxygène (col. 6) s'est montrée plus considérable dans l'air comprimé que sous la pres-

[1] Voy. *Pflüger's Archiv.*, Bd. IX, taf. VII, *a*; 1874.

sion normale. La moyenne générale donne 7^{gr},058 sous la pression normale, et 7^{gr},481 dans l'air comprimé, avec des écarts extrêmes allant, dans le premier cas, de 5^{gr},112 à 8^{gr},345, et dans le second cas, de 6^{gr},481 à 8^{gr},879. La différence est beaucoup moins importante et moins constante pour l'acide carbonique (col. 7), si l'on considère seulement les moyennes; cependant, l'examen des minima et des maxima corrobore l'idée d'une formation plus grande de CO^2 dans

TABLEAU XXIII.

1	2	3	4	5	6	7
NUMÉROS DES SÉRIES	LIMITES DES SÉRIES (litres inspirés)	NOMBRE DES MOUVEMENTS RESPIRATOIRES DANS UNE MINUTE	QUANTITÉ D'AIR INSPIRÉ DANS QUINZE MINUTES (litres)	VALEUR MOYENNE DE CHAQUE INSPIRATION (litres)	QUANTITÉ D'O ABSORBÉ EN QUINZE MINUTES (grammes)	QUANTITÉ DE CO^2 FORMÉ EN QUINZE MINUTES (grammes)
			A. — Pression normale.			
I	de 121 à 130	17,3	127,6	0,49	7,91	7,94
II	de 112 à 121	15,7	117,3	0,49	7,12	7,13
III	de 103 à 112	16,8	108,8	0,44	6,11	6,33
			B. — Pression augmentée.			
I	de 113 à 118	16,1	115,8	0,48	8,26	7,96
II	de 108 à 113	15,6	111,5	0,47	7,56	7,04
III	de 103 à 108	15,8	106,0	0,44	7,04	6,89

l'air comprimé : à la pression ordinaire, en effet, les oscillations ont été de 5^{gr},747 à 8^{gr},710, et sous pression de 5^{gr},824 à 8^{gr},737.

Les nombres relatifs à la ventilation pulmonaire (col. 4) sont aussi fort intéressants. D'abord, bien évidemment, il passe à travers les poumons, dans un temps donné, moins d'air, en volume, sous la pression augmentée qu'à la pression normale; la moyenne générale donne 110 et 118, avec des écarts, dans le premier cas, de 102,9 à 118,5, et dans le second, de 103,2 à 129,6. Le nombre des mouvements respiratoires est également diminué dans l'air comprimé; en

moyenne il tombe de 16,5 à 15,9 par minute. Il résulte de ces deux modifications que l'amplitude respiratoire change à peine, puisqu'elle ne varie en moyenne que de $0^l,48$ (pression normale) à $0^l,46$ (air comprimé). Ajoutons que l'inspection attentive des mouvements respiratoires, une montre à secondes à la main, aurait permis à G. Liebig de constater que le rhythme respiratoire lui-même change dans l'air comprimé, l'inspiration y devenant plus courte et l'expiration plus longue : le rapport de durée entre ces deux phases aurait, dans une de ses observations, passé de 2 : 3 à 1 : 2 (p. 518). Il est ainsi d'accord avec ce qu'avait dit Vivenot (V. p. 442 et fig. 9), et en contradiction avec Panum (V. p. 455).

Tous ces résultats, qui sont en harmonie avec les faits déjà connus, s'expliquent, suivant G. Liebig, par l'action mécanique de la pression augmentée :

On peut s'en rendre compte par les observations suivantes. Supposons un flacon recouvert d'une membrane élastique; si l'on extrait l'air de ce flacon, à l'aide d'un tube pénétrant dans l'intérieur, on observera que la membrane est infléchie en dedans. Plus la pression extérieure sera forte, plus profond sera l'infléchissement, et réciproquement, puisque son élasticité propre agit en sens inverse de la pression de l'air.

Pendant l'inspiration, lorsque les parois de la poitrine se dilatent, et que le diaphragme se contracte, il tend à se former autour des poumons un vide qui sera d'autant plus facilement rempli que la pression extérieure de l'air sera plus forte relativement à leur élasticité. L'expiration deviendra plus difficile, parce que la pression extérieure de l'air oppose une résistance au retour des poumons sur eux-mêmes.

Panum et Vivenot ont montré que les parois de la poitrine et le diaphragme prennent dans l'air comprimé un état d'équilibre différent de l'état ordinaire, avec élargissement du thorax. Ces parois présentent alors une tension de dedans en dehors qui s'oppose à la tension inverse des poumons; les deux forces se trouvent l'une et l'autre dans un équilibre déterminé avec la troisième force qui entre en action, à savoir la pression de l'air. Si cette force est accrue ou diminuée, il se produira un changement dans l'équilibre du système. (P. 516.)

Le docteur Leonid Simonoff[1], directeur de l'établissement aérothérapique de Saint-Pétersbourg, a tout récemment publié un livre important sur la compression barométrique, en-

[1] *Aerotherapie*. — Giessen, 1876.

visagée au point de vue médical. La partie physiologique contient un résumé fort intéressant des connaissances antérieures, et aussi le compte rendu d'un certain nombre d'expériences personnelles sur les variations du poids chez les malades soumis à la médication aérothérapique :

Dans le cours de l'année 1873, le docteur Katschenowsky a exécuté dans mon service médical des observations sur lui et sur d'autres personnes..... Le résultat est le suivant : Avec des quantités de nourriture telles que dans l'air ordinaire, il y aurait équilibre entre les ingesta et les excreta, le poids du corps diminue successivement sous l'influence d'un séjour quotidien de deux heures dans l'air comprimé. (P. 79.)

Mais, fait observer M. Simonoff, l'appétit augmente toujours; or, si on le satisfait, au lieu de régler la nourriture comme l'a fait Katschenowsky, on voit le poids du corps augmenter. Sur cinquante-trois personnes qu'il a examinées, trente-deux pesaient davantage après le traitement (en moyenne 1077^{gr} par individu); deux n'avaient pas changé; dix-neuf avaient diminué de poids (en moyenne 786^{gr} par individu) (p. 81-92). Il faut remarquer que toutes ces mesures ont été prises sur des malades, et que l'augmentation du poids du corps et de l'appétit paraissait n'être qu'un effet indirect de l'amélioration due aux traitements. Il faudrait, pour faire preuve, expérimenter sur des individus bien portants.

SOUS-CHAPITRE II

RÉSUMÉ, ET APPLICATIONS PRATIQUES.

§ 1er. — Fortes pressions.

La découverte de l'action toxique de l'oxygène à haute tension constitue à coup sûr la partie la plus intéressante et la plus inattendue de ce long travail. Les expériences faites sur les animaux comme sur les végétaux, sur les êtres aériens comme sur les êtres aquatiques, sur les êtres compliqués de structure comme sur les microscopiques monocellulaires et sur les éléments anatomiques séparés du corps, ont montré de la ma-

nière la plus nette qu'à partir d'une certaine tension oxygénée de l'atmosphère ambiante, la vie devient impossible, et que la mort peut survenir avec une remarquable rapidité.

Chez les animaux à sang chaud, les phénomènes convulsifs violents dont nous avons donné la description (p. 799) se manifestent de suite au-dessus de 20 atmosphères d'air ; la mort très-rapide a lieu au-dessus de 25 atmosphères ; mais les effets fâcheux se font sentir nettement dès 6 atmosphères, comme nous l'avons vu par une méthode indirecte (p. 768).

Nous avons surabondamment prouvé qu'ils sont la conséquence non de la pression barométrique en tant qu'agent physico-mécanique, mais de l'augmentation dans la tension de l'oxygène ambiant. Je renvoie pour tous ces faits au chapitre IV, sous-chapitre I, où ils ont été étudiés avec détail. On y verra non-seulement la description des symptômes de l'empoisonnement par l'oxygène, l'indication de la dose mortelle de l'oxygène extérieur, exprimée en tensions, mais celle de la richesse oxygénée du sang qui correspond aux différents stades des phénomènes extérieurs : la mort arrive rapidement quand la proportion de ce gaz a augmenté d'un tiers dans le sang artériel. On y trouvera en outre démontré ce résultat paradoxal en apparence, que sous l'influence d'une plus forte oxygénation du sang, les tissus s'oxydent moins, les combustions organiques diminuent d'énergie , la production d'acide carbonique, l'excrétion d'urée, la destruction intra-sanguine du sucre sont entravées, et que, par suite, la température diminue.

Ces faits perdent de leur étrangeté en se liant à ceux que révèle le chapitre VI. Tous les éléments anatomiques, y est-il en effet démontré, subissent la redoutable influence de l'oxygène comprimé (p. 914) ; les êtres microscopiques qui déterminent les fermentations vraies, sont tués par cet agent[1] ; la

[1] Les récents travaux de M. Pasteur et les miens sur l'agent virulent des maladies charbonneuses, semblent indiquer une exception à cette règle générale. Les corpuscules reproducteurs de certains vibrions qui conservent, comme je l'ai montré, leur vitalité pendant plusieurs mois dans l'alcool dilué, résistent en effet à des tensions oxygénées qui tuent les vibrions eux-mêmes. Mais il faudrait savoir si ce n'est pas là simplement une question de dose dans la tension, ou de durée

putréfaction est arrêtée, et la consommation d'oxygène qui lui est concomitante diminue jusqu'à pouvoir être réduite à zéro. Or les éléments anatomiques, en présence de l'oxygène en excès, se comportent comme les êtres élémentaires libres, et, périssant, cessent de consommer l'oxygène nécessaire à l'entretien de leurs actes vitaux.

Suivons ceci d'un peu plus près. Et d'abord, nous l'avons vu, pour les végétaux comme pour les animaux, la pression de 5 ou 6 atmosphères d'air (tension oxygénée 100 à 120) amène des troubles assez graves pour que des expériences de laboratoire, qui s'exécutent à bref délai, les signalent d'une manière manifeste. Ainsi la respiration d'oxygène pur, à la pression normale (tension 100), ne pourrait être longtemps supportée par les animaux à sang chaud. Vers 10 ou 12 atmosphères apparaissent des troubles assez rapidement mortels, et vers 20 atmosphères, les convulsions caractéristiques de l'empoisonnement oxygéné. Or, à 6 atmosphères, l'oxygène du sang artériel n'a augmenté que de 3 volumes; à 12 atmosphères, il a passé en moyenne de 20 à 25 volumes, et à 20 atmosphères, de 20 à 29 (voy. fig. 36, p. 664); quand il passe de 20 à 35 (exemple : expérience CCLXXXVII, 27 atmosphères), la mort arrive en quelques minutes. D'autre part, nous avons à plusieurs reprises insisté sur ce fait, que le sang artériel, dans les actes normaux de la respiration, ne se sature presque jamais d'oxygène. Quand on ouvre la trachée et qu'il s'ensuit, comme cela arrive souvent, une respiration tout à fait exagérée, ou quand on agite le sang dans un flacon plein d'air, on le voit gagner 3 ou 4 volumes en moyenne.

Ainsi, la pression de 6 atmosphères d'air environ a pour conséquence d'introduire dans le sang artériel à peu près la quantité d'oxygène qui serait nécessaire pour le saturer sous la pression normale. Et, nous l'avons vu, cette pression commence à être pernicieuse pour les organismes supérieurs. La

dans l'expérience. Je poursuis cette question, à laquelle je ne saurais encore donner une réponse. (Voy. les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. Séances des 21 mai, 9 juillet, 30 juillet 1877.)

saturation du sang serait donc une condition fâcheuse, et par une heureuse harmonie, lorsqu'elle est atteinte, l'*apnée* qui intervient l'empêche aussitôt de persister.

A partir de ce degré de pression, la combinaison oxy-hémoglobique est satisfaite, et l'oxygène qui s'ajoute au sang suivant une progression qui se rapproche de la loi de Dalton (p. 665, 700) n'est plus que de l'oxygène dissous, également réparti entre les globules et le plasma ; et même, si le séjour dans l'air comprimé dure un temps suffisant, il doit se dissoudre aussi dans les tissus au même degré. Or, fait du plus haut intérêt, c'est en présence de cet oxygène simplement dissous, libre, que les oxydations intimes se ralentissent, puis s'arrêtent. Il semble que les tissus aient besoin, pour s'oxyder, de l'oxygène emprunté, enlevé à la combinaison oxy-hémoglobique, si bien que, en présence de l'oxygène dissous apporté par la compression, ou les tissus deviennent incapables d'opérer cette dissociation, ou les globules ne peuvent plus céder leur oxygène, et demeurent condamnés à la saturation perpétuelle. Je ne connais rien, en chimie physiologique, de plus curieux que cette sorte d'*action de présence* de l'oxygène dissous, ayant pour conséquence non d'activer, mais d'arrêter une combinaison. Quoi qu'il en soit des explications possibles, il est certain que les oxydations organiques ne se font plus lorsque le globule sanguin, chargé cependant au maximum d'oxygène, est entouré de cette espèce d'atmosphère d'oxygène libre, dissous dans le plasma, dissous dans les tissus.

Nous avons vu, je le rappelle encore, que cette cessation de l'activité oxydante des tissus a lieu en présence de l'excès d'oxygène, non-seulement chez les animaux à globules rouges, mais chez tous les êtres vivants. Or, cette cessation des phénomènes vitaux n'est pas seulement momentanée, comme celle que, chez les êtres inférieurs, occasionne la diminution de pression, mais est une véritable mort, une mort définitive; ce qui montre que bien évidemment il ne s'agit pas ici d'une simple suspension, mais d'une déviation des phénomènes vitaux. Une graine maintenue dans le vide, germe lorsqu'on

laisse rentrer l'oxygène; un chien qui a des convulsions d'asphyxie revient à lui quand on lui rend l'air. Mais la graine maintenue sous compression ne germera plus; le chien ramené de l'oxygène comprimé à la pression normale, peut, après vingt-quatre heures de convulsions consécutives, périr sans s'être amélioré (exp. CCLXXVIII, p. 777). Il semble qu'il se soit, sous l'influence de l'oxygène comprimé, formé dans les éléments anatomiques quelque produit toxique, qui ne peut pas toujours s'éliminer, et tue alors même que sa cause formatrice a disparu. Aller plus loin que cette hypothèse me paraîtrait une imprudence dans l'état actuel de la science.

Les travaux de M. Pasteur ont appris que les êtres vivants microscopiques peuvent être divisés en deux groupes, les uns ayant besoin pour vivre du contact de l'air, de l'oxygène libre (aérobies), les autres (anaérobies) redoutant l'air, au contraire, et empruntant l'oxygène qu'ils consomment à des matières organiques qu'ils décomposent dans ce but. Or, ce que nous venons de dire montre que les éléments anatomiques groupés en tissus sont essentiellement anaérobies. Chez les animaux supérieurs, où il a été possible de pousser assez loin l'analyse des phénomènes, nous savons que c'est à l'oxy-hémoglobine qu'ils demandent leur oxygène; mais quand celle-ci étant saturée, ce dernier gaz apparaît simplement dissous dans le plasma et les tissus, ils deviennent malades et meurent si l'expérience dure assez longtemps, ou si la dose d'oxygène libre est assez forte, absolument comme font les vibrions de la fermentation butyrique[1] en présence de l'air atmosphérique. Le globule rouge semble seul faire exception, car il paraît bien essentiellement aérobie; mais je penche à croire que ce n'est là qu'une illusion, car ce globule lui-même, lorsque son stroma constitutif, sa globuline, contient de l'oxygène libre après la saturation de la teinture (hématocristalline) avide d'oxygène qu'il porte en lui, périt comme les autres éléments anatomiques (V. p. 917). Aussi, dans l'état régulier des choses, ainsi que nous l'avons

[1] Voy. Pasteur, *Études sur la bière*, p. 293. — Paris, 1876.

vu, jamais la combinaison oxy-hémoglobique n'est saturée d'oxygène. Il est à remarquer, du reste, que les micro-organismes aérobies, comme les bactéries, périssent également sous l'influence de l'oxygène comprimé; on peut dès lors faire l'hypothèse qu'elles portent en elle, comme le globule rouge, quelque matière avide d'oxygène et dont la combinaison oxygénée nourrit leur propre substance constituante. Dans cette hypothèse, tous les êtres vivants et toutes leurs parties prises isolément, seraient anaérobies. Quoi qu'il en soit, le parallélisme s'établit parfaitement entre les globules rouges et les bactéries d'une part, les éléments anatomiques et les vibrions d'autre part. Mais si différents qu'ils paraissent être, divisés ici deux à deux, tous se ressemblent par la mort qui les frappe rapidement en présence d'une dose suffisante d'oxygène dissous.

Avant de quitter ce sujet, appelons encore l'attention sur cette application nouvelle de la règle générale, que lorsqu'un poison frappe tout l'organisme, c'est le système nerveux qui réagit le premier. Le chien dans l'air comprimé a d'abord des convulsions; et celles-ci, troublant les mécanismes dont l'harmonie est nécessaire à l'entretien de la vie, le tuent avant que les autres éléments anatomiques soient frappés à mort; mais c'est pour ces derniers une question de temps. Son sang est encore capable de rappeler à la vie un autre chien exsangue; mais si on l'agite pendant quelques heures sous pression oxygénée, il tuera l'animal sain auquel on l'injectera, bien loin de pouvoir sauver l'exsangue mourant. De même, la queue du rat mort par l'oxygène se peut parfaitement greffer; mais une plus longue exposition dans l'oxygène comprimé en tuera les éléments et la greffe se résorbera sans suppuration (p. 944).

§ 2. — **Faibles pressions.**

Je désigne sous ce titre, ainsi que je l'ai fait dans le sous-chapitre II du chapitre IV (p. 816-844), les pressions intermé-

diaires entre une et cinq atmosphères d'air, dans lesquelles la tension de l'oxygène varie entre celle de l'air (20,9) et les 100 de l'oxygène pur. Avec ces tensions, comme je viens de le faire remarquer, le sang artériel n'est pas complétement saturé d'oxygène, bien qu'il en soit de plus en plus riche à mesure que l'on s'éloigne de la pression normale.

Ces pressions faibles sont fort importantes à étudier pour le médecin et pour l'hygiéniste, puisque ce sont celles qu'on emploie dans la thérapeutique d'une part et de l'autre dans l'industrie. Mais au point de vue où j'étais placé, ce qui m'y paraissait le plus intéressant, c'était de chercher à quelle pression se trouvait réalisé le maximum d'oxydation intra-organique. Nous avons vu, d'une part, que depuis les plus faibles pressions jusqu'à une atmosphère, et d'autre part que, à partir de cinq ou six atmosphères et au-dessus, ces oxydations s'en vont en diminuant : où serait placé le sommet de la courbe qui représenterait ces phénomènes?

Or, mes analyses directes de la quantité d'acide carbonique exhalé, d'oxygène absorbé, d'urée sécrétée dans un temps donné, et mes recherches indirectes sur la rapidité des putréfactions, tendent à démontrer que c'est aux environs de trois atmosphères, vers la tension de 60 d'oxygène que se trouve le maximum cherché. Les récentes expériences de G. Liebig (p. 1130) déposent dans le même sens.

Mais je suis le premier à reconnaître que rien n'est plus difficile que de semblables expériences, et que les conclusions sont toujours périlleuses. Relativement à la production de l'urée, par exemple, ou bien nous maintiendrons le sujet en expérience à une nourriture bien régulière, et alors l'excès d'oxydation, s'il y en a un, s'exerçant sur les matériaux de l'organisme lui-même, cessera en les épuisant de se manifester; ou bien nous augmenterons la nourriture, et alors l'augmentation d'urée produite n'aura plus de mesure possible, puisque nous ne connaissons pas l'équivalent en urée des divers aliments : j'ai commencé sur ce dernier point des recherches encore incomplètes. Mais malgré toutes ces causes d'erreur, je suis frappé de la concordance des analyses

de Vivenot, Panum, G. Liebig, J. Pravaz, avec les miennes, et aussi du témoignage unanime des médecins et des ingénieurs sur l'augmentation de l'appétit des malades ou des ouvriers soumis à l'air comprimé. Mes conclusions me semblent donc pour le moins très-vraisemblables.

Il en résulterait, si nous considérons les animaux supérieurs, que les oxydations organiques augmenteront d'intensité quand on se rapprochera de la saturation de la combinaison oxy-hémoglobique. On peut imaginer que ce sera là le point maximum, celui où l'oxydation se fera le plus facilement, les dernières molécules d'oxygène étant pour ainsi dire hésitantes, à peine retenues par l'hémoglobine, prêtes à la quitter pour se combiner aux tissus; au delà, comme nous l'avons vu plus haut, les oxydations diminuent.

Mais d'autre part, la manière d'être, la rapidité de développement des animaux inférieurs, têtards de grenouilles, larves d'insectes, maintenus pendant longtemps sous les tensions d'oxygène comprises entre 21 et 100, démontrent d'une manière fort nette que s'il y a augmentation de nutrition, il n'y a pas, tant s'en faut, meilleur état général. A partir de 80 même, l'influence funeste de l'oxygène se fait évidemment sentir. Il en va de même, et avec une bien plus grande intensité encore, pour les germinations, qui ne s'opèrent jamais mieux que sous la pression normale.

Ce point étudié, je ne pouvais me désintéresser complétement des modifications apportées par l'air comprimé à la circulation et la respiration, modifications tant de fois analysées par les médecins. J'ai constaté après bien d'autres observateurs la diminution du nombre des pulsations et l'augmentation de la capacité pulmonaire maxima : j'ai trouvé que la quantité d'air (en volume) qui traverse le poumon pendant un temps donné ne change pas sensiblement dans l'air comprimé : ce point n'avait pas été directement examiné avant moi; je dois dire que, selon G. Liebig, elle diminuerait un peu (dans le rapport de 118 à 100).

Le fait le plus intéressant que m'ait fourni cette partie de mes recherches, est la preuve que l'amplitude plus grande

du poumon est due à l'action mécanique de la compression sur les gaz intestinaux (p. 833). Elle a encore pour conséquence de diminuer les variations de la pression aérienne intra-thoracique pendant les actes d'inspiration et d'expiration. Enfin j'ai, le premier, mesuré directement la pression artérielle sous compression, et montré qu'elle est notablement augmentée encore par l'action mécanique de la pression.

J'ai été jusqu'ici assez sévère contre les explications qui ont invoqué le côté mécanique de la pression pour insister sur ces constatations nouvelles. Mais, ainsi que je l'ai souvent dit, la pression ne peut à ce point de vue agir que sur des réservoirs gazeux; c'est ce qu'elle fait pour l'intestin, vessie close, dont le volume diminue suivant la loi de Mariotte, le poumon devant suivre alors le diaphragme qui s'abaisse davantage; c'est ce qu'elle fait pour le thorax, qui serait écrasé si l'ouverture trachéale n'existait pas, et qui ne serait nullement impressionné si cette ouverture était, ce qu'elle n'est pas, suffisamment large.

Mais l'intensité relative de cette action de la pression va en diminuant avec la valeur de la compression; et cela se comprend, car si l'intestin perd, en passant de une à deux atmosphères, la moitié de son volume, il ne diminue que d'un quart en sus en passant de deux à quatre. De plus, l'augmentation de la capacité thoracique ne peut représenter qu'une partie de la réduction de volume de l'intestin, parce que les parois de l'abdomen en comblent une proportion qui doit aller en croissant avec la pression, le diaphragme rencontrant dans sa descente des obstacles de plus en plus forts.

§ 3. — Décompression brusque.

Je crois avoir élucidé, dans le chapitre VII, tout ce qui a rapport à cette question, relativement assez simple, puisqu'elle est purement d'ordre physique. J'ai montré que tous les accidents, depuis les plus faibles jusqu'à ceux qui entraînent une mort soudaine, sont la conséquence du déga-

gement de bulles d'azote dans le sang et même dans les tissus quand la compression avait duré une temps suffisant.

Ces quelques lignes suffisent pour résumer cette partie de notre étude, sur laquelle nous allons revenir dans le paragraphe suivant.

§ 4. — Applications pratiques. Thérapeutique et hygiène.

A. *Thérapeutique.* — Je me garderai, observant en ceci la même prudence que lorsqu'il s'est agi de l'air raréfié, d'exposer et de juger les applications qu'on a faites depuis Junod, Pravaz et Tabarié, de l'air faiblement comprimé au traitement de diverses maladies. Je pourrais cependant affirmer, après tant d'autres, l'utilité de cette médication dans certains asthmes et dans l'anémie. Mais j'aime mieux, ayant cité ces deux maladies, dire que le séjour dans les appareils à air comprimé me paraît agir sur elles d'une manière différente : pour l'asthme, je crois que c'est l'action mécanique dont j'ai plus haut parlé qui l'emporte; pour l'anémie, je crois que c'est l'action chimique, la saturation plus parfaite de l'oxy-hémoglobine.

L'intérêt de cette distinction gît en ceci, que dans les cas où l'action chimique devra être recherchée, et ce sont très-probablement ceux où il s'agira de modifier la nutrition, on pourrait parfaitement remplacer le séjour dans les cylindres à compression par la respiration d'air suroxygéné : grand avantage, on le comprend, dans la pratique thérapeutique, car jamais les coûteux appareils à air comprimé ne pourront fonctionner hors des grandes villes ou des villes d'eau, tandis que rien n'est plus facile que de se procurer de l'oxygène à domicile.

Mais il faut bien s'entendre sur l'emploi des inhalations d'oxygène. Depuis le jour où Priestley disputa à deux souris « l'honneur d'avoir le premier respiré l'air déphlogistiqué [1] » jusqu'à l'époque actuelle, bien des tentatives ont été

[1] Priestley, *Expériences et observations sur l'air*, etc. Trad. Gibelin, t. II, p. 125.

faites pour introduire les respirations d'oxygène dans le domaine de la thérapeutique[1]. L'enthousiasme des auteurs de la fin du dernier siècle et du commencement de celui-ci pour les vertus curatives de l'air vital, n'était tempéré que par une crainte : l'action irritante de l'oxygène sur le tissu des poumons, et surtout l'activité dévorante qu'il devrait imprimer aux oxydations vitales. Brizé-Fradin[2] s'exprime sur ce point avec une grande énergie :

L'air vital ou l'oxygène pur userait bientôt la vie au lieu de l'entretenir... Le flambeau de la vie, brûlant avec précipitation, s'éteindrait bientôt... La fièvre emporterait bientôt celui qui ferait un usage immodéré de l'air vital.

Il est impossible de respirer l'oxygène seul au delà de deux minutes; les pulsations du pouls sont alors plus vives, plus fréquentes; on éprouve un état de gêne insupportable. (P. 133.)

Il est à peine besoin de dire que la violence des sensations et des troubles éprouvés est purement imaginaire, à moins cependant que le gaz oxygène ne fût mal préparé.

Après être complétement tombé dans l'oubli, l'oxygène tend à reprendre faveur depuis plusieurs années. Mais je me permets de penser qu'on s'y prend fort mal dans son application, et que, s'il est possible d'espérer quelque utilité de son emploi, c'est à la condition de changer totalement de méthode.

On fait, en effet, respirer aux malades l'oxygène presque pur, et comme alors il n'est pas possible d'en avoir une grande quantité, on en administre quelques litres (généralement 30 au maximum en France), qui sont absorbés en 5 ou 6 minutes au plus. Cette manière de procéder offre deux inconvénients : d'abord on ne peut espérer quelque action durable d'une légère augmentation pendant dix minutes au plus, dans l'oxygène du sang; en second lieu, comme on s'efforce d'employer de l'oxygène aussi pur que possible, il est possible

[1] Voy. pour l'historique de la question, Demarquay : *Essai de pneumatologie médicale;* Paris, 1866. — Voy. aussi l'intéressante brochure du Dr Andrew Smith : *Oxygen gas as a remedy in disease;* New York, 1870.

[2] *La chimie pneumatique appliquée aux travaux sous l'eau.* — Paris, 1808.

qu'on aille à l'encontre du but qu'on se propose d'atteindre en dépassant le maximum d'oxygénation véritablement utile aux oxydations. Ainsi, choc violent et de peu de durée, agissant peut-être en sens inverse de ce qu'on désire, tel est le résumé de la méthode, qui ne me paraît pas devoir être conservée dans la grande majorité des cas.

Je ne voudrais la voir désormais appliquée que dans les cas menaçants d'asphyxie[1], d'empoisonnement par l'oxyde de carbone[2] ou le gaz des égouts, là où l'on a peu de temps pour agir. Encore faudrait-il employer seulement de l'air à environ 60 pour 100 d'oxygène, et continuer les inhalations pendant au moins une heure.

Les attaques d'asthmes pourraient aussi être favorablement modifiées par ces inhalations, mais beaucoup moins, sans doute, que par l'air comprimé, où l'action mécanique s'ajoute à l'action chimique.

Mais s'il s'agit de combattre une affection lente, comme l'anémie, mon avis est d'essayer de faire respirer au malade, tous les jours, pendant deux heures environ, un mélange à 25 ou 30 pour 100 d'oxygène seulement, ce qui correspondrait à une compression de 20 à 35 centimètres. Pour ce temps, il faudrait au plus une quantité totale d'un mètre cube de mélange gazeux, contenant de 50 à 100 litres d'oxygène ajouté; des ballonnets de baudruche, avec flacons laveurs odoriférants, suffiraient dans la pratique, et les manipulations nécessaires deviendraient bientôt familières aux malades. J'ai la profonde persuasion qu'on éprouverait d'une semblable médication d'aussi bons résultats que de l'emploi de l'air comprimé.

Je trouve qu'on a été jusqu'ici un peu trop timoré dans l'emploi thérapeutique de l'air comprimé. Jamais, en effet, on n'a, dans les appareils médicaux, dépassé 2 atmosphères,

[1] Voy. Constantin Paul, *De l'emploi de l'oxygène en thérapeutique* (*Bull. gén. de thérap.*, 15 août 1868, observ. I et III), et Limousin, *Note sur le traitement de l'asphyxie par le gaz oxygène; Bull. des travaux de la Soc. de méd. pratique de Paris*, 1871.

[2] Voy. Linas et Limousin, *Asphyxie par le charbon; traitement et guérison par l'oxygène. — Société de thérapeutique*; 17 juillet 1868.

pression totale; rarement même on les atteint. Je crois qu'on pourrait pousser sans inconvénient jusqu'à 3 atmosphères; c'est vers ce niveau, en effet, que se trouve le maximum des oxydations intra-organiques, et si c'est en augmentant les oxydations que l'air comprimé agit favorablement sur les malades, on peut aller jusque-là logiquement.

Pravaz, on l'a vu, a fait quelques tentatives pour l'emploi chirurgical de l'air comprimé. Je suis étonné qu'il n'ait pas songé à le préconiser dans les cas de hernies étranglées où l'intestin contient beaucoup de gaz qui empêchent la réduction; à 2 atmosphères, le volume de ces gaz aurait diminué de moitié, des deux tiers à 3 atmosphères, ce qui ne serait pas indifférent. On devrait, bien entendu, recommencer le taxis dans l'appareil même.

Enfin, dans certaines tympanites suffocantes, si l'on soumettait le malade à l'air comprimé, on verrait aussitôt cesser les menaces d'étouffement. Peut-être reparaîtraient-elles si aucune médication ne pouvait enrayer la maladie; mais il vaut la peine d'essayer. En tout cas, il faudrait garder les malades dans les cylindres jusqu'à guérison complète.

Qu'adviendrait-il de l'emploi médical de très-hautes pressions, 3 atmosphères et plus? La diminution des combustions ferait, certes, de cette médication, un antiphlogistique; mais n'y aurait-il pas quelque autre élément en jeu? Il est probable que l'essai ne sera pas fait de longtemps, du moins par les médecins des hôpitaux. Ceux qui soignent les ouvriers tubistes et les plongeurs ont eu déjà, nous l'avons vu, l'occasion de constater que l'oxygène à haute tension exerce une action favorable sur les phénomènes inflammatoires.

B. *Hygiène.* — Les ouvriers qui travaillent aux piles de pont, les plongeurs à scaphandre, n'ont pas encore atteint le degré où la respiration de l'air comprimé devient, d'après nos expériences, évidemment dangereuse : la pression la plus forte qui ait été obtenue jusqu'ici a été de $4^{atm.}$,25 à Douchy et de 4,45 à Saint-Louis U. S. Et cependant déjà, certains accidents d'anémie pouvaient être mis au compte de ces fortes pressions. Seulement, les phénomènes de la dépression

viennent tellement compliquer les choses qu'il est impossible de rien affirmer.

Mais si les nécessités de l'industrie entraînent l'emploi de pressions dépassant 5 atmosphères, on peut s'attendre à voir survenir chez les ouvriers des accidents dont la gravité augmentera rapidement; à 10 atmosphères, je ne mets pas en doute que la mort ne soit fréquente, et je ne parle, bien entendu, ici, que du stade de compression.

Si l'importance de ces travaux est suffisante pour motiver de grandes dépenses, et le cas pourra se présenter, par exemple, pour les pêcheurs de perles, d'éponges et surtout de corail, pour les scaphandriers dans quelque sauvetage précieux, il sera possible de tourner la difficulté: l'augmentation dans la tension de l'oxygène ambiant constituant le danger, il faudra la diminuer en telle sorte qu'elle oscille toujours à peu près entre la valeur normale de 21 et celle de 60, qui semble inoffensive. Pour y arriver, il faudra refouler dans les tubes non de l'air ordinaire, mais de l'air pauvre en oxygène. L'appareil à l'aide duquel M. Tessié du Motay prépare l'oxygène pourrait être ici utilisé; on pourrait en obtenir, en effet, de l'azote ne contenant que très-peu d'oxygène. En mêlant dans des proportions convenables cet azote avec l'air ordinaire, on réaliserait aisément les proportions voulues : à 8 atmosphères, par exemple, pour ramener la tension de l'oxygène à 40, il faudrait envoyer de l'air contenant 5 pour 100 seulement d'oxygène. L'hydrogène pourrait également être employé, et l'on sait que M. Giffard le prépare aujourd'hui à des prix extrêmement modérés.

Mais si l'on suppose ces graves difficultés vaincues, on se trouvera en présence des dangers de la décompression, singulièrement aggravés par l'énorme proportion d'azote qui se sera dissoute dans le sang. Déjà, comme nous l'avons vu, les accidents sont fréquents, même avec l'air ordinaire. Mais pour ce dernier cas, le seul qui se soit jusqu'ici présenté, nos recherches nous ont amené à des conséquences pratiques très-importantes et très-applicables.

Dès que la pression employée atteindra 2 atmosphères en

pression totale, il sera bon de surveiller de près ; il n'y a pas encore de danger véritable, mais déjà les douleurs locales apparaissent, et il est utile, du reste, d'habituer de bonne heure les ouvriers aux précautions. Or, la grande précaution, c'est la lenteur dans la décompression.

Je pense qu'entre 2 et 3 atmosphères, il faudra consacrer, pour être complétement à l'abri, une demi-heure à la décompression ; de 3 à 4, une heure, et la lenteur de la décompression devra être assurée par le degré d'ouverture possible du robinet d'équilibre. Mais ici intervient l'inconvénient grave, le danger même, du refroidissement concomitant au travail de dilatation de l'air, avec la rosée qui en est la conséquence. Il faudra, pour le conjurer, non-seulement donner à l'ouvrier des vêtements secs et chauds, mais disposer dans la chambre à décompression des cylindres de réchauffement, ayant de doubles parois creuses, que traverseraient des jets de vapeur, et que l'ouvrier pourrait embrasser, contre lesquels il pourrait s'appuyer. Je crois que des agencements très-simples et peu coûteux permettraient de résoudre le problème.

On pourrait, du reste, disposer deux chambres de décompression, toutes deux chauffées, si bien qu'on passerait, par exemple, d'une chambre de 3 atmosphères à une de 2, pour séjourner là pendant un quart d'heure au plus et sortir ensuite au dehors ; ces *éclusées* doubles gèneraient moins le service.

Plus les ouvriers seront restés longtemps dans les tubes, plus lentement ils devront se décomprimer, car il faudra laisser le temps non-seulement à l'azote du sang de sortir, mais à l'azote des tissus de repasser dans le sang. Et, comme c'est ce dernier point qui est le plus difficile à obtenir, il faudra ne pas imposer aux ouvriers des stades de travail trop longs, et ne les laisser descendre qu'une fois par jour dans les tubes.

Pour les plongeurs à scaphandres, comme on ne peut les réchauffer, il serait peut-être difficile de les décomprimer très-lentement à l'aide de quelque treuil mécanique et gradué. Mais cependant, quand ils reviendront de grands fonds, par 30 mètres par exemple, il faut absolument, ou les remonter sur quelque siége qui permette de les retenir au

moins un bon quart d'heure à moitié chemin, ou les contraindre à stationner pendant un temps suffisant sur quelque haut-fonds, lorsqu'il s'en trouve dans l'étendue de leur terrain de pêche.

Si, enfin, malgré ces diverses précautions, un accident survenait, que faire? Mes recherches ont déjà répondu pour nous (chap. VII, s.-chap. IV). Si l'auscultation dévoile quelques gargouillements gazeux dans la région du cœur, se hâter de faire respirer de l'oxygène aussi pur que possible, qu'on devra toujours avoir dans un ballon de caoutchouc, ou mieux, comprimé en quantité dans quelque réservoir en acier. Puis, lorsque les gaz auront disparu du cœur, et que la mort ne sera plus imminente, soumettre aussitôt le malade à une pression supérieure à celle d'où il sortait, pour le décomprimer ensuite avec une lenteur extrême. Du reste, quand la pression atteint 4 atmosphères, il serait prudent de faire respirer l'oxygène, surtout aux plongeurs, aussitôt après le retour à l'air libre, et sans attendre l'apparition d'aucun accident. Lorsque la dépression manifestera ses effets par la paraplégie, il faudra immédiatement recomprimer, sans perdre son temps à faire respirer l'oxygène, surtout quand l'accident n'est arrivé que quelque temps après le retour à l'air normal, car il ne s'agit plus là d'obstruction générale de la circulation pulmonaire, mais de quelque bulle de gaz arrêtée dans les vaisseaux de la moelle, et dont il faut réduire aussitôt le volume pour que le sang puisse l'entraîner.

Les ouvriers employés dans l'air comprimé doivent en outre souffrir d'inconvénients qui pour être moins graves ne sont pas cependant à négliger complétement. Ainsi les gonflements soudains des gaz intestinaux, la mousse formée dans les liquides du tube digestif, peuvent avoir des conséquences fâcheuses au point de vue de la digestion, et contribuer à ces troubles de l'appétit qu'on a souvent signalés.

De plus, l'air dans lequel ils séjournent n'est rien moins que sain. Dans les tubes du pont de Kehl, M. Bucquoy a trouvé 2,37 pour 100 d'acide carbonique (p. 391), et la pression s'élevant à 3 atmosphères et demie, les ouvriers étaient, ainsi

que nous l'avons prouvé, dans la même condition que si, à la pression normale, ils avaient respiré de l'air contenant $2,37 \times 3,5 = 8,3$ pour 100 de CO^2; et à coup sûr, une pareille respiration ne serait pas sans danger. De même d'autres gaz, l'oxyde de carbone des combustions incomplètes, les gaz produits par les explosions des mines qu'on fait quelquefois jouer, ceux qui se dégagent du sol qu'on traverse, agissent dans le double rapport de leur proportion centésimale et de la pression manométrique; nous avons vu (p. 774) combien vite quelques gouttes d'éther anesthésient dans l'air comprimé. On voit qu'une énergique ventilation est de rigueur, et l'on n'a pas assez insisté sur ce point, parce qu'on ne connaissait pas les effets multiplicateurs de la pression sur l'action des gaz toxiques.

§ 5. — Conséquences au point de vue de l'histoire naturelle générale.

Nous avons eu, en parlant de la diminution de pression, à montrer succinctement le rôle qu'elle joue dans les conditions générales de la vie sur le globe et la distribution géographique des animaux ou des plantes.

L'étude de la nature actuelle ne nous présente rien de comparable au point de vue de l'augmentation de pression, du moins si nous considérons les êtres vivants aériens : les régions si restreintes qui se trouvent un peu au-dessous du niveau de la mer (vallées de la mer Morte et de la Caspienne) sont à peine peuplées. Mais il en est, ou du moins il paraît en être tout autrement, pour les êtres qui vivent dans les eaux de la mer à des profondeurs qui atteignent 4 et 5000 mètres.

Tout d'abord, si nous considérons en place même les êtres des profondeurs maxima, y compris le célèbre Bathybius, qui, après avoir joué un rôle si considérable dans les nouvelles philosophies de la nature, semble devoir être relégué parmi les matières minérales[1], il est clair qu'ils ne subissent

[1] Voy. C. Vogt, *L'origine de l'homme*. (*Revue scientifique*, n° du 12 mai 1877, p. 1090.)

aucune influence immédiate et mécanique de l'énorme pression à laquelle ils sont constamment soumis et avec laquelle ils sont parfaitement équilibrés. Il en serait tout autrement si l'on immergeait à 4000 mètres, par exemple, un animal habitué à vivre par 2000 mètres; l'excès de pression produirait une diminution du volume de son corps, qui très-probablement ne serait pas sans influence fâcheuse sur son organisme. Réciproquement, un animal amené de 4000 mètres à la surface se dilatera d'une quantité notable (environ 15 millièmes de son volume primitif), et cette espèce de distension des tissus est probablement pour beaucoup dans la mort des animaux pêchés dans les dragages profonds[1].

L'influence mécanique de la compression ou de la décompression s'exerce d'une manière très-efficace et très-énergique sur les animaux munis de vessies aériennes, surtout lorsqu'elles sont closes, comme chez les poissons marins. Dans ce cas, ainsi que l'a surabondamment démontré M. A. Moreau[2], toute variation brusque de pression qui, agissant sur le volume de leur vessie, peut assez modifier leur densité moyenne pour les amener de quelques mètres au-dessus ou au-dessous de leur lieu d'équilibre, aura pour conséquence, pour le premier cas, de les entraîner jusqu'à la surface, leur vessie se dilatant toujours jusqu'à éclater; pour le second cas, de les faire sonder indéfiniment dans les profondeurs de l'Océan, la vessie se contractant toujours, et la densité de leur propre corps augmentant dans le même rapport que celle de l'eau. Remarquons que les variations naturelles de la pression barométrique ne dépassant pas deux centimètres de mercure (26^c d'eau) par jour, et les oscillations extrêmes n'étant que de 5 centimètres (65^c d'eau) au plus, les poissons n'en sont pas sérieusement impressionnés. Du reste, ainsi que l'ont montré les remarquables expériences de M. Moreau, ils peuvent, avec du temps, com-

[1] Voy. Wyville Thomson, *Les abîmes de la mer.* Trad. Lortet. — Paris, 1875, p. 27.

[2] *Recherches expérimentales sur les fonctions de la vessie natatoire. — Biblioth. de l'École des hautes études*, t. XV, 1876.

penser cette influence, tantôt en sécrétant de l'oxygène dans leur vessie natatoire, tantôt en absorbant au contraire l'oxygène qu'elle contient, et faire ainsi varier à la fois son volume et leur densité.

Nous avons vu que les animaux aquatiques périssent tués par l'oxygène lorsque la compression en introduit dans l'eau une quantité suffisante (V. p. 814). Mais cet effet redoutable ne peut évidemment avoir lieu que si la compression s'exerce d'abord sur l'air et fait alors pénétrer dans l'eau l'oxygène en proportion croissante, suivant la loi de Dalton; mais la pression exercée par la colonne d'eau elle-même sur ses parties profondes ne modifie en rien la tension réelle de l'oxygène. Du reste, les analyses directes de l'eau de mer puisée dans les profondeurs ont montré qu'elle contenait moins d'oxygène que l'eau de la surface. D'après Lant Carpenter[1], l'eau de mer contiendrait en moyenne, quelle que soit la profondeur, 2,8 volumes de gaz pour 100 volumes d'eau; ce gaz serait ainsi constitué :

	A la surface.	Au fond.
Oxygène.	25,00	19,53
Azote.	54,21	52,60
CO^2.	20,84	27,87
	100,00	100,00

Ainsi, moins d'oxygène et un peu moins d'azote. De ceci, découlent deux conséquences :

D'abord, le séjour dans les profondeurs ne soumet les animaux à aucun péril venant de l'oxygène en tension. En second lieu, la décompression brusque ne devra produire aucun effet fâcheux sur les animaux des profondeurs, puisqu'ils n'auront pas d'excès d'azote dissous dans leurs tissus; ainsi en va-t-il, du reste, et l'on n'a jamais trouvé de gaz libres dans les tissus d'un poisson ou d'un invertébré ramené par la drague.

Les choses changeraient singulièrement si tout à coup quelque source d'air venait à jaillir du fond de la mer. Il

[1] *In* W. Thompson, *Les abîmes, etc., Appendice.*

suffirait qu'elle vînt de 100 mètres, fût-elle chimiquement pure, pour tuer rapidement tous les êtres qu'elle rencontrerait sur son passage.

Enfin si, pour les animaux aériens comme pour les animaux aquatiques, nous considérons non plus l'époque actuelle, mais les âges géologiques, tout nous donne à penser que la pression barométrique a dû jouer un rôle important dans l'apparition et dans la modification de la vie à la surface du globe. Aux premiers âges de notre planète, en effet, la tension de l'oxygène devait être beaucoup plus forte qu'aujourd'hui pour deux raisons : l'atmosphère était plus haute, et sa richesse oxygénée plus forte, les roches n'étant point encore refroidies et oxydées sur une aussi grande épaisseur. Les époques qui nous suivront verront sans doute l'air rentrer de plus en plus dans les profondeurs du sol et l'oxygène y diminuer en proportion croissante. Ainsi, il est permis d'imaginer qu'il y a eu un temps où les êtres actuels n'auraient pu vivre sur le sol, à cause de la trop grande tension de l'oxygène, et qu'un temps viendra où ils ne pourront plus vivre à cause de sa trop faible tension. Aller au delà de cette première hypothèse plausible serait s'aventurer dans le pur domaine de la fantaisie : nous laisserons à d'autres ce rôle séduisant et facile.

Peut-être cependant me pardonnera-t-on de faire remarquer que les trois ennemis de la vie telle que nous la connaissons aujourd'hui, étant, aux premiers âges géologiques, la chaleur, la tension de l'oxygène et celle de l'acide carbonique, les êtres qui résistent le plus à cette triple et funeste influence appartiennent au groupe des vibrioniens. Ce sont eux, également, qui demeurent le plus longtemps actifs dans l'air raréfié. Vraisemblablement donc c'est par eux que la vie a apparu, c'est par eux qu'elle finira à la surface de notre planète.

CHAPITRE III

CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

Les faits exposés dans la deuxième partie de cet ouvrage, les théories qui en sont la conséquence, et qu'a résumées la troisième partie, peuvent être, si nous laissons de côté les chapitres qui traitent de l'empoisonnement par l'acide carbonique, de l'asphyxie, des gaz du sang, et autres questions un peu en dehors du sujet même de ce livre, condensés dans les conclusions suivantes :

A. — La diminution de la pression barométrique n'agit sur les êtres vivants qu'en diminuant la tension de l'oxygène dans l'air qu'ils respirent, dans le sang qui anime leurs tissus (*anoxyhémie* de M. Jourdanet), et en les exposant ainsi à des menaces d'asphyxie.

B. — L'augmentation de la pression barométrique n'agit qu'en augmentant la tension de l'oxygène dans l'air et dans le sang.

Jusqu'à trois atmosphères environ, cette augmentation de tension a pour conséquence des oxydations intra-organiques un peu plus actives.

Au delà de cinq atmosphères, les oxydations diminuent d'intensité, changent probablement de nature, et, quand la pression s'élève suffisamment, s'arrêtent complétement.

Il en résulte que tous les êtres vivants, aériens ou aqua-

tiques, animaux ou végétaux, complexes ou mono-cellulaires, que tous les éléments anatomiques, isolés (globules du sang, etc.) ou groupés en tissus, périssent plus ou moins rapidement dans l'air suffisamment comprimé. Cette formule ne paraît souffrir d'exception que pour les corpuscules reproducteurs de quelques êtres microscopiques. Pour les animaux dits supérieurs, la mort est précédée de convulsions toniques et cloniques d'une violence extrême.

Chez les vertébrés, les accidents rapides dus à la trop grande tension de l'oxygène ne commencent à se manifester qu'au moment où l'hémoglobine étant saturée d'oxygène, ce gaz entre à l'état de simple dissolution au contact des tissus. On peut donc dire que les éléments anatomiques sont *anaérobies*.

C. — Les diastases, les venins, les virus vrais, résistent à l'action de l'oxygène à haute tension.

D. — Les effets fâcheux de la diminution de pression peuvent être efficacement combattus par la respiration d'un air suffisamment riche en oxygène pour maintenir à la valeur normale (20,9) la tension de ce gaz.

Ceux de l'augmentation de pression le seront en employant de l'air assez pauvre en oxygène pour arriver au même résultat.

E. — D'une manière générale, les gaz favorables ou nuisibles (oxygène, acide carbonique, etc.) n'agissent sur les êtres vivants que suivant la tension qu'ils possèdent dans l'atmosphère ambiante, tension qui se mesure en multipliant leur proportion centésimale par la pression barométrique; l'augmentation de l'un des facteurs peut être compensée par la diminution de l'autre.

F. — Lorsque les animaux possèdent des réservoirs d'air soit complétement clos (vessie natatoire des poissons acanthoptérygiens, etc.), soit en communication avec l'air pendant la décompression seule (vessie natatoire des Cyprins, intestins des vertébrés aériens, etc.), soit en communication avec l'air pendant la compression comme pendant la décompression, mais par des orifices trop étroits (poumons des ver-

tébrés aériens, etc.), la diminution ou l'augmentation de pression peuvent avoir des effets physico-mécaniques.

G. — La décompression brusque à partir de plusieurs atmosphères n'a d'effet (sauf réserve pour quelques cas compris dans la conclusion F) qu'en laissant revenir à l'état libre l'azote qui s'était, à la faveur de la pression, dissous dans le sang et les tissus.

H. — Les êtres actuellement existants à l'état sauvage sur la surface du globe sont accommodés au degré de tension oxygénée sous laquelle ils vivent : toute diminution, toute augmentation paraît leur être défavorable quand ils sont dans l'état de santé.

La thérapeutique peut tirer un parti utile de ces modifications dans divers états pathologiques.

I. — La pression barométrique et la proportion centésimale de l'oxygène n'ont pas toujours été les mêmes sur notre globe. La tension de ce gaz a vraisemblablement été et continuera sans doute d'aller en diminuant. C'est là un facteur dont on n'a pas encore tenu compte dans les spéculations biogéniques.

La puissance de réaction contre ces diverses modifications conduit à supposer que les êtres microscopiques ont dû apparaître les premiers et qu'ils disparaîtront les derniers, lorsque la vie s'éteindra par insuffisance de tension d'oxygène.

K. — Il est inexact d'enseigner, comme on le fait d'ordinaire, que les végétaux ont dû apparaître sur la terre avant les animaux, afin de purifier l'air de la grande quantité de CO^2 qu'il contenait. En effet, la germination, même celle des moisissures, ne se fait pas dans l'air assez chargé de CO^2 pour être mortel aux animaux à sang chaud.

Il l'est tout autant, ainsi que je l'ai fait il y a longtemps observer, d'expliquer l'antériorité des reptiles par rapport aux animaux à sang chaud, par l'impureté de l'air souillé de trop de CO^2; les reptiles, en effet, redoutent ce gaz plus encore que les oiseaux, et surtout que les mammifères.

ANNEXES

I

Tableau indiquant très-approximativement les rapports entre la hauteur et l'altitude de la colonne barométrique (les hauteurs calculées sont empruntées au livre de M. Jourdanet, t. II, p. 331).

Col. barom. en centimètres.	Hauteur en mètres.	
76	0	
75	105	Orthez (105^{m}) ; Reims (109^{m}).
74	212	Dijon (217^{m}) ; Tulle ; (222^{m}).
73	321	Tarbes (302^{m}) ; Epinal (317^{m}) ; Privas (334^{m}).
72	430	Brioude (424^{m}) ; Gibraltar (438^{m}).
71	542	Bagnères (556^{m}) ; Tolède (563^{m}).
70	655	Le Puy (625^{m}) ; Grenade (681^{m}).
69	769	Gap (729^{m}).
68	886	Burgos (875^{m}).
67	1004	L'Escurial (995^{m}) ; Chamounix (1020^{m}).
66	1123	Barcelonnette (1130^{m}).
65	1245	Cormayeur (1218^{m}) ; le Ballon d'Alsace (1250^{m}).
64	1368	Hispahan (1340^{m}).
63	1494	Le Puy de Dôme (1476^{m}).
62	1621	Porté, le village le plus élevé des Pyrénées (1625^{m}).
61	1751	Le mont Ossa (1755^{m}).
60	1882	Le pic de Sancy (1897^{m}) ; Erzeroum (1860^{m}).
59	2016	Le col du Simplon (2020^{m}).
58	2152	Le col du petit Saint-Bernard (2160^{m}).
57	2291	Mexico (2290^{m}).
56	2432	L'hospice du grand Saint-Bernard (2470^{m}) ; le Parnasse (2470^{m})
55	2575	Santa-Fé de Bogota (2560^{m}).
54	2721	Le col du mont Viso (2700^{m}) ; le mont Cinto (Corse) (2710^{m}).
53	2874	Quinto (2910^{m}).
52	3022	Endschetkab en Abyssinie (2960^{m}) ; l'Olympe (2975^{m}).
51	3176	Le Simplon (3200^{m}).
50	3334	L'Etna (3310^{m}) ; le mont Perdu (3350^{m}).
49	3495	Le pic de Nethou (3405^{m}) ; Cuzco (3470^{m}) ; Leh (3505^{m}).
48	3659	Le Mont-Cenis (3620^{m}) ; le pic de Ténériffe (3715^{m}) ; la Paz (3720^{m}).
47	3827	Le mont Argée (3840^{m}).
46	3998	Le lac de Titicaca (3915^{m}).
45	4173	La Yungfrau (4170^{m}) ; Potosi (4165^{m}).
44	4352	Cerro de Pasco (4350^{m}) ; le village de Chushul (4390^{m}).
43	4535	Le Mischabel (4550^{m}) ; le monastère de Hanle (4610^{m}).
42	4723	Le Mont-Blanc (4810^{m}) ; le tunnel de la Oroya (4760^{m}) ; le poste de Rumihuani (4740^{m}).
41	4914	Le Pichincha (4860^{m}) ; le village de Thok-Djalank (4980^{m}).
40	5111	Le Kasbek (5030^{m}) ; le grand Ararat (5155^{m}) ; les mines de Villacota (5042^{m}).
39	5313	Le Popocatepetl (5420^{m}).
38	5520	L'Elbruz (5620^{m}) ; la passe de Karakorum (5650^{m}).
37	5732	La passe de Parang (5835^{m}).
36	5950	Le Cotopaxi (5945^{m}).
35	6174	Le Kilimandjaro (6110^{m}) ; le Misti (6100^{m}).
34	6405	Le Chimborazo (6420^{m}).
33	6643	Le Cerro de Potosi (6620^{m}).
32	6888	L'Aconcagua (6835^{m}).
31	7141	Le Doukia (7070^{m}) ; le ballon de Robertson (7170^{m}).
30	7402	Le Chamalari (7300^{m}) ; l'Illimani (7310^{m}).
29	7674	Le Sorate (7560^{m}).
28	7951	Le Barathor (7950^{m}).
27	8241	Le Dawalaghiri (8185^{m}).
26,2	8600	Crocé Spinelli, Sivel et Tissandier, en ballon.
24,8	8840	Le mont Everest (8840^{m}) ; le ballon de Glaisher (8838^{m}) ; moi, dans mon appareil (voy. p. 761).

II

Analyse du récent travail de M. le Dr Mermod.

Au moment de donner le *bon à tirer* de cette dernière feuille, je reçois de M. le Dr Mermod, dont j'ai déjà parlé (voy. page 345), un travail trop intéressant pour que je puisse le passer sous silence.

M. Mermod a comparé les phénomènes respiratoires et circulatoires observés sur lui-même, pendant des séjours de plusieurs mois à Sainte-Croix (1100m), Lausanne (614m), Erlangen (343m), et Strasbourg (142m).

Après avoir rappelé ses anciennes observations sur l'accélération du pouls, il constate (en contradiction sur ce point avec ce qu'ont dit les auteurs qui l'ont précédé, voy. p. 310, 1057) que la fréquence des mouvements respiratoires est restée la même à Sainte-Croix et à Strasbourg; d'où il résulte évidemment que le rapport entre le nombre des respirations et celui des battements du cœur a diminué par l'habitation d'une station plus élevée. La température du corps est restée invariable.

Mais la partie la plus importante du travail de M. Mermod est celle où il compare l'exhalation de l'acide carbonique dans les deux stations extrêmes.

Les moyennes des résultats qu'il a obtenus peuvent être résumées dans le tableau ci-dessous :

	Strasbourg (H 142m; θ 12°,65; P 745mm.)	Sainte-Croix (H 1100m; θ 12°,68; P 669mm.
Nombre de respirations par minute.	11,15	11,24
Volume du gaz expiré par minute.	5l,85	6l.27
Ce même volume, réduit à 0° et 760mm.	5l,48	5l,27
Volume de chaque expiration.	524cc	557cc
Ce même volume réduit à 0° et 760mm.	491cc	469cc
Poids de CO^2 expiré par minute.	0gr,375	0gr,402
Proportion centésimale de CO^2 dans l'air expiré.	5,507	6,098

On tire de ces chiffres les conclusions suivantes :

1° Le volume de l'air qui circule dans les poumons pendant un temps donné, et celui qui s'y introduit par une seule inspiration, sont plus grands à Sainte-Croix qu'à Strasbourg ; mais leur poids est plus petit ;

2° La quantité d'acide carbonique exhalée dans un temps donné et sa proportion centésimale dans l'air expiré, sont plus grandes à Sainte-Croix qu'à Strasbourg.

Je n'ai aucune critique à élever contre les méthodes d'expériences et d'analyses employées par M. Mermod, et je tiens ses résultats pour exacts dans les conditions où il les a obtenus.

Mais peut être serait-il prématuré de généraliser les conclusions précédentes, même pour les écarts de niveau auxquels ont été faites les observations.

L'auteur ne nous renseigne pas suffisamment sur les conditions et les époques de ses recherches ; il dit seulement qu'à Strasbourg il a opéré pendant l'hiver, et à Sainte-Croix pendant l'automne. Mais s'agit-il de

la même année, ou d'années différentes? Dans ce dernier cas, il aurait pu survenir dans sa constitution des modifications qui expliqueraient les changements observés dans les résultats expérimentaux ; or, M. Mermod ne parle même pas du poids de son corps. Il est probable, d'autre part, que son régime de vie, en dehors de la nourriture sur laquelle il donne quelques détails, n'était pas le même sur la montagne et dans la ville, et il peut y avoir là une certaine influence sur la production de l'acide carbonique dans un temps donné.

A plus forte raison, il ne paraît pas permis d'appliquer, comme tend à le faire M. Mermod, les résultats qui précèdent à l'habitation dans les régions très-élevées, où se fait sentir le *bis* ou le *soroche*. Là, l'état maladif des voyageurs et même des indigènes contraste singulièrement avec le sentiment de mieux-être que presque tout le monde éprouve aux faibles altitudes où a observé notre auteur. Nous renvoyons à ce que nous avons dit, pages 1105 et suivantes, sur la comparaison des *faibles hauteurs* (au-dessus de 2000^{m}) avec les *grandes hauteurs*, au point de vue des effets de l'habitation prolongée.

Je ne saurais trop engager M. Mermod à compléter ses intéressantes expériences en nouant le cercle, c'est-à-dire en recommençant ses analyses à Sainte-Croix, lieu où il avait opéré avant Strasbourg; s'il retrouve les mêmes nombres, il aura levé toutes les objections, pour ce qui est des bas niveaux. Il serait, enfin, de la plus haute importance d'observer suivant les mêmes méthodes à la Paz (3720^{m}) ou à Cerro de Pasco (4350^{m}).

Je ne dirai qu'un mot, en terminant, à propos d'une question de priorité soulevée par M. Mermod. A l'entendre, son maître, l'éminent chimiste Hoppe-Seypler aurait, seize ans avant moi, découvert la cause de la mort par décompression brusque, et la raison fondamentale du *mal des montagnes*.

Il rapporte, pour ce dernier point, une page remarquable du mémoire que j'ai moi-même cité (p. 258), page que je signerais volontiers aujourd'hui. Mais ce passage ne marque que la pénétration d'esprit de son auteur ; c'est une pure hypothèse que combattent même les propres expériences de Hoppe, et à laquelle il renonce quand il s'agit d'expliquer la mort des animaux soumis à l'air raréfié. Quant à la part qui lui revient dans l'explication de la mort des animaux brusquement décomprimés à partir de plusieurs atmosphères, je l'ai indiquée à la page 474 de ce livre.

Mais je n'insiste pas sur ces questions de priorité qui n'ont jamais qu'un intérêt fort médiocre.

TABLE DES GRAVURES

TABLE DES MATIÈRES

SECONDE PARTIE — EXPÉRIENCES.

TROISIÈME PARTIE. — FAITS RÉCENTS, RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.



Typographie Lahure, rue de Fleurus, 9, à Paris. [17257]